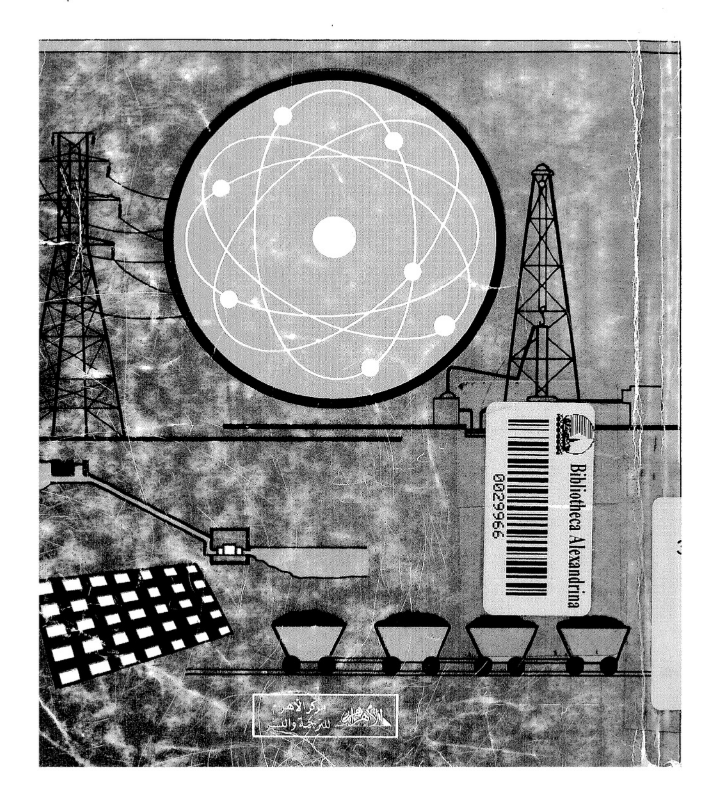
الطاقة ومصادرها المختلفة

دكتور/ أحمد مدحت إسلام



الطاقة

ومصادرها المختلفة

دكتور/ أحمد مدحت اسلام

الطبعة الاولى
١٤٠٩ هـ - ١٩٨٨ م

الناشر : مركز الأهرام للترجمة والنشر
مؤسسة الأهرام - شارع الجلاء - القاهرة
تليفون ٧٤٨٢٤٨ - تلكس ٩٢٠٠٢ يو إن

المحتويـــات

صفحة

مقدمة

يحتاج الانسان إلى الطاقة فى حياته اليومية احتياجا شديدا ، فهو يستخدمها كل يوم فى ادارة آلاته فى المصانع ، ويحرك بها وسائل النقل بأنواعها المختلفة فى كل مكان ، فى المدن وفى الجو ، وفى البحار والمحيطات ، ويدير بها كثيرا من ادواته المنزلية ، إلى غير ذلك من الاغراض .

وكل حركة يقوم بها الانسان تحتاج إلى استهلاك قدر من الطاقة ، وهو يستمد طاقته على العمل اليدوى والذهنى من الغذاء المتنوع الذى يتناوله كل يوم ، فهو يحرق هذا الغذاء فى خلاياه ، ويحوله إلى طاقة يستخدمها فى تحريك عضلاته ، وفى أداء أعماله اليومية .

وقديما كان الانسان يستخدم عضلاته وقوته البدنية فى تحريك الأشياء ، وفى القيام بمختلف الأعمال ، ثم نجح بعد ذلك فى استئناس بعض الحيوانات ، واستخدمها فى القيام بالشاق من الاعمال .

وقد تمكن الانسان بعد ذلك من استغلال حركة الرياح فى تحريك السفن فى الأنهار والبحار ، واستخدمها كذلك فى ادارة بعض طواحين الهواء ، كما تمكن من استغلال الفرق فى منسوب المياه فى أجزاء بعض الأنهار فى ادارة بعض السواقى وبعض الآلات .

وقد عرف الانسان الفحم منذ أن اكتشف النار ، ولاحظ أن بعض الاحجار السوداء الموجودة طبيعيا ، تقبل الاشتعال ، وقد استخدم هذا الفحم بعد ذلك كمصدر من مصادر الطاقة ، ثم بدأ بعد ذلك فى استخدام ضغط البخار فى تحريك الآلات .

وقد اكتشف الانسان بعد ذلك زيت البترول وما يصاحبه من غاز طبيعى ، واستطاع بعد أن زادت معرفته وتقدمت حضارته ، أن يحصل على كثير من المواد النافعة بتقطير الفحم ، وأن يجزىء البترول الخام الى كثير من المقطرات المتنوعة ومتغيرة الخواص ، مما يسر له استخدامها فى أكثر من مجال .

وقد فاق استعمال كل من البترول والغاز الطبيعى اليوم ، استعمال الفحم ، وأصبح البترول هو أهم مصدر من مصادر إنتاج الطاقة هذه الايام .

وقد ازدادت الحاجة إلى الطاقة هذه الايام بشكل متزايد ، ويرجع السبب فى هذه الزيادة إلى زيادة أعداد السكان على مستوى العالم ، ولكنه يرجع بصورة أكبر إلى زيادة الأخذ بأساليب التكنولوجيا الحديثة فى كل مكان ، وهى اساليب تعتمد على استخدام مزيد من الطاقة فى كل المجالات .

وقد أدى كل ذلك إلى زيادة الطلب بصورة حادة على مختلف أنواع الوقود ، مما شكل ضغطا هائلا على مصادر الطاقة الطبيعية ، حتى بدأت بعض هذه المصادر غير المتجددة ، مثل الفحم وزيت البترول والغاز الطبيعى ، فى النضوب .

ولا ينتظر ان تبقى هذه الأنواع من الوقود طويلا ، بل يقدر أن ينضب كل من البترول والغاز الطبيعى على مستوى العالم خلال الخمسين عاما القادمة .

ويبدو الاستهلاك المتزايد للطاقة ومصادرها ، بصورة أكثر وضوحا فى الدول الصناعية المتقدمة ، ولو اننا اخذنا الولايات المتحدة مثالا لهذه الدول ، فاننا نجد أن استهلاك الطاقة بها يتضاعف تقريبا كل عشرين عاما منذ بداية هذا القرن .

وقد يظن البعض أن هذه الزيادة الكبيرة فى استهلاك الطاقة ترجع إلى زيادة اعداد السكان ، ولكن تبين من الاحصائيات التى أجريت فى هذا الشأن أن هذا غير صحيح ، فتعداد سكان الولايات المتحدة لم يزد فى الفترة التى تقع بين عامى ١٩٦٠ ، ١٩٨٠ إلا بمقدار ٢٥٪ ، على حين زاد استهلاك الطاقة فى نفس هذه الفترة بنسبة اكبر من ذلك كثيرا ، وبلغت نحو ٨٠٪ .

ويتضح من ذلك أن نسبة الزيادة فى استهلاك الطاقة فى الولايات المتحدة تزيد بأكثر من ثلاث مرات على نسبة الزيادة فى أعداد سكانها .

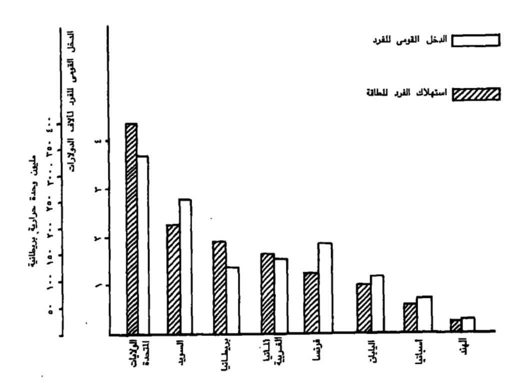
ويتبين لنا من هذا المثال ، انه وان كانت زيادة السكان تؤدى إلى زيادة الطلب على الطاقة ، إلا أنها لا تمثل العامل الوحيد المتسبب فى زيادة استهلاكها ، ولكن توجد هناك بعض العوامل الأخرى التى تساعد على هذه الزيادة .

وتوجد مثل هذه الأنماط فى كثير من الدول الأخرى ، خاصة فى تلك الدول الصناعية المتقدمة والتى تمتلك مصادر غنية للطاقة وحدث بها تقدم سريع فى بناء صناعاتها المختلفة .

وقد بينت بعض الدراسات أن هناك علاقة ما بين الزيادة فى استهلاك الطاقة ، وبين النمو الاقتصادى للدولة ، بمعنى أن الزيادة فى استهلاك الطاقة ،

تتناسب تناسبا طرديا مع التقدم التكنولوجى للدولة وليس مع الزيادة فى تعداد سكانها .

كذلك لوحظ أن الزيادة فى استهلاك الطاقة بالنسبة للفرد ، تتناسب طرديا مع الزيادة فى انتاجه ، ويبدو ذلك بوضوح من الشكل البيانى التالى الذى يبين العلاقة بين الزيادة فى استهلاك الفرد للطاقة (مقدرة بملايين الوحدات الحرارية البريطانية) وبين الزيادة فى دخل الفرد (مقدرة بآلاف الدولارات) ، ويكاد يكون استهلاك الفرد للطاقة ودخله متساويين على وجه التقريب .



مخطط يبين الزيادة فى استهلاك الفرد للطاقة (مقدرة بملايين الوحدات الحرارية البريطانية) بزيادة الدخل القومى للفرد (مقدرة بآلاف الدولارات)

ويتضح التساوى بين الزيادة فى دخل الفرد والزيادة فى استهلاكه للطاقة ، إذا علمنا ان كلا من الانتاج القومى واستهلاك الطاقة فى دولة صناعية متقدمة مثل الولايات المتحدة ، قد ارتفع بنفس النسبة خلال الاربعين سنة الماضية بمعدل يصل إلى ٣ ـ ٣,٥٪ فى السنة . وينطبق ذلك ايضا على كل من الدول الصناعية والدول النامية معا .

ومن الملاحظ ان انتقال المجتمع من مجتمع زراعى إلى مجتمع صناعى تصحبه عادة زيادة كبيرة فى استهلاك الطاقة ، وذلك بسبب تغير أنماط الحياة فى المجتمع الجديد ، وزيادة الطلب على كثير من السلع والخدمات التى تحتاج فى انتاجها إلى استهلاك قدر كبير من الطاقة .

كذلك يلاحظ أن استهلاك الطاقة فى القطاع الزراعى قد زاد زيادة كبيرة فى السنوات الاخيرة ، وذلك لأن زيادة السكان فى كثير من دول العالم قد أصبحت شيئا ملموسا ، وأصبحت بذلك هناك حاجة ماسة إلى انتاج مزيد من الغذاء ، وقد دعا ذلك إلى استخدام كثير من الآلات ، وإلى الميكنة فى عمليات الانتاج الزراعى سواء فى عمليات حرث التربة أو فى عمليات الرى أو الحصاد وجمع المحاصيل أو فى عمليات تصنيع المخلفات الزراعية .

اما فى القطاع الصناعى ، فهناك زيادة مستمرة فى استهلاك الطاقة من يوم لآخر .

وقد لا يشعر أغلب الناس بهذه الزيادة بطريقة ملموسة ، ولكن الحاجة الدائمة إلى زيادة الانتاج الصناعى ، وإلى تطوير كثير من السلع وتحسين نوعيتها يترتب عليه دائما زيادة كبيرة فى استهلاك الطاقة ، وتبدو هذه الزيادة فى كل خطوات الانتاج الصناعى ومراحله المختلفة ، سواء فى عمليات استخراج الخامات أو فى عمليات تنقيتها ، أو عند تشكيلها وتحويلها إلى مواد مصنعة .

ونجد مصداقا لهذه الزيادة الهائلة فى استهلاك الطاقة فى دولة صناعية كبرى مثل الولايات المتحدة ، فقد زاد حجم الانتاج الصناعى بها زيادة ضخمة بين عامى ١٩٦٠ ، ١٩٧٨ ، وبلغت هذه الزيادة فى الانتاج أكثر من الضعف فى بعض القطاعات ، وقد صاحب ذلك زيادة هائلة فى استهلاك الطاقة فقد زاد استهلاك الطاقة عام ١٩٧٨ على ضعف القدر المستهلك منها فى عام ١٩٦٠ .

وترجع الزيادة الهائلة فى استهلاك الطاقة فى القطاع الصناعى هذه الايام إلى تطور طرق الانتاج وإلى ظهور بعض التجهيزات الحديثة التى تستهلك مزيدا من الطاقة ، مثل الآلات ذاتية الحركة التى نطلق عليها مجازا اسم الانسان الآلى ، كما ظهرت بعض الحاسبات الالكترونية المعقدة التى أدت إلى تشغيل بعض المصانع تشغيلا ذاتيا ، وأدت إلى الاستغناء عن جهود كثير من العمال ، وقد ساعد على ذلك ارتفاع تكاليف العمالة التى ارتفعت إلى حدود كبيرة زادت على تكاليف استخدام المعدات الالكترونية فى عمليات التشغيل الذاتى ، ولا شك أن كل ذلك قد أدى إلى زيادة كبيرة فى استهلاك الطاقة على المستوى الصناعى .

أما فى قطاع النقل ، فقد أدى انتشار استخدام السيارة فى كل أنحاء العالم إلى زيادة ضخمة فى استهلاك الطاقة ، خاصة بعد أن أصبحت الاسرة التى تمتلك سيارتين شيئا عاديا فى كثير من الدول الصناعية المتقدمة .

كذلك فان انتشار استخدام السيارة فى عمليات نقل البضائع وشحنها والحاجة إلى تطوير وسائل النقل بصفة دائمة ، مثل ابتكار وسائل أكثر سرعة وأكثر كفاءة كالنفاثات والقطارات السريعة والشاحنات الكبيرة وغيرها قد تسبب فى استهلاك مزيد من الطاقة ، خاصة بعض نواتج تقطير البترول مثل السولار والجازولين وما شابههما .

وتتضح هذه الزيادة بجلاء فى دولة كبرى مثل الولايات المتحدة التى تعتمد عمليات نقل البضائع فيها على الشاحنات التى تجرى على الطرق السريعة ، فقد قدر استهلاك الجازولين فيها عام ١٩٨٠ بنحو ٥١٧ بليون لترا ، بالمقارنة بنحو ٤١٠ بلايين لتر من الجازولين تم استهلاكها عام ١٩٧٠ ، أى أن الزيادة فى استهلاك الجازولين خلال عشر سنوات تقدر بنحو ١٢,٦٪ .

وتتضح الزيادة الهائلة فى استهلاك الطاقة على المستوى الدولى بصورة أكثر وضوحا فى قطاع الكهرباء خاصة فى الدول الصناعية المتقدمة .

ففى الولايات المتحدة مثلا ، نجد أنها قد استهلكت من الكهرباء عام ١٩٨٠ نحو ٣٨٠ مرة قدر ما استهلكته منها عام ١٩٠٠ ، وهى زيادة هائلة لا تتناسب مع الزيادة فى عدد سكانها ، ولكنها ترجع أساسا إلى الزيادة فى الانتاج الصناعى وتقدم نموها الاقتصادى والأخذ بأساليب التكنولوجيا الحديثة .

وتوجد مثل هذه الزيادة الهائلة فى استهلاك الكهرباء فى كثير من الدول المتقدمة الاخرى .

وقد امتد هذا الاستهلاك الهائل للكهرباء إلى كثير من الدول النامية نتيجة لاخذها ببعض أساليب التكنولوجيا الحديثة وبدء بعض عمليات التصنيع بها .

كذلك أدى ارتفاع مستوى المعيشة فى بعض هذه الدول إلى انتشار استعمال كثير من الادوات الكهربائية الحديثة فى المنازل ، مثل أجهزة التكييف وآلات غسل الملابس وآلات غسل الصحون ، والخلاطات والثلاجات والتليفزيونات وغيرها ، مما كان يعتبر من أدوات الترف على المستوى الدولى حتى عام ١٩٥٠ ، ثم أصبحت اليوم تستعمل فى كل مكان ، بل لم يتوقف استعمال هذه الأدوات

الكهربائية الحديثة على سكان المدن ، ولكنه امتد ليشمل سكان الريف فى كثير من البلدان .

وينعكس هذا الاستهلاك المتزايد للطاقة على القطاع التجارى كذلك ، فأغلب المحلات التجارية مكيفة الهواء هذه الايام ، وتستعمل السلالم الكهربائيه والمصاعد فى الانتقال بين أدوارها ، كما تستعمل أنوار النيون فى الاعلان عن بضاعتها ، وتستعين فى ذلك بالعديد من الرسوم المتحركة التى تعمل بالكهرباء .

كذلك تنتشر اليوم فى كثير من الدول الجراجات مكيفة الهواء والصالات الرياضية التى تتغير درجة حرارتها من فصل لآخر ، وحمامات السباحة ذات الماء الساخن شتاءا ، وهى جميعا تضيف إلى تلك الزيادة الهائلة فى استهلاك الطاقة التى يعانى منها العالم هذه الايام .

ويجابه العالم اليوم موقفا صعبا ، فالاسراف فى استخدام الطاقة فى كل مكان يهدد مصادر الطاقة التقليدية بالنضوب خلال بضع عشرات من السنين ، كذلك فإن اعتماد بعض الدول اعتمادا زائدا على مصادر الطاقة المستوردة يهدد نمو هذه الدول بشكل خطير ، ويؤثر على كيانها الاقتصادى وعلى استقلالها إلى حد كبير .

أيضا تسبب الزيادة فى حرق أنواع الوقود التقليدية نتيجة للزيادة فى استخدامها فى انتاج الطاقة ، كثيرا من المشاكل المتعلقة بتلوث البيئة فى أغلب دول العالم مما يؤثر على صحة سكانها ويقلل من انتاجهم ، ويجب أن يتوفر الحل لكل هذه المشاكل فى الأعوام القليلة القادمة ، كما يجب البحث عن مصادر جديدة للطاقة المتجددة تتميز بقلة تكاليفها وبقلة ما تسببه من تلوث للبيئة .

مصادر الطاقة

تتعدد مصادر الطاقة الطبيعية التى يستخدمها الانسان اليوم ، مثل الفحم وزيت البترول ، والغاز الطبيعى وحركة الماء والهواء ، وحرارة الشمس ، والطاقة النووية وغيرها .

ولا تستعمل بعض مصادر الطاقة التقليدية مثل الفحم وزيت البترول بصورتها التى توجد عليها فى الطبيعة ، بل لابد ان تجرى بعض العمليات الثانوية على هذه الأنواع من الوقود قبل ان تصبح صالحة للاستعمال فى مختلف الأغراض .

وعادة ما تؤدى مثل هذه العمليات الثانوية التى يتطلبها تجهيز الوقود إلى رفع تكلفته كثيرا ، فالفحم المستخرج من باطن الارض لا يمكن استعماله كما هو ، بل لابد وان يخضع لبعض طرق المعالجة كما سنرى فيما بعد ، لازالة ما به من شوائب ، ولتكسيره إلى حجوم مناسبة ، ثم يتم نقله بعد ذلك بواسطة الشاحنات أو السفن أو السكك الحديدية إلى مناطق التجمعات الصناعية .

كذلك فإن تكاليف استكشاف زيت البترول ، وتكاليف استخراجه من باطن الأرض ، ونقله من الآبار إلى معامل التكرير ، وتكاليف تجزئته وتحويله إلى مقطرات نوعية مثل الجازولين والسولار وزيت الوقود ، تتسبب كلها فى رفع سعره كوقود ، مما يؤدى إلى زيادة تكلفة السلع التى يستخدم فى انتاجها .

ويستفاد من الطاقة التى تنتج من كل من الفحم وزيت البترول عند احراقهما ، وتستغل الحرارة الناتجة منهما فى عمليات التسخين وفى انتاج البخار لادارة الآلات فى المصانع أو لادارة التربينات المولدة للكهرباء فى محطات القوى ، وكذلك تستخدم نواتج تقطير البترول فى ادارة محركات السيارات وبعض محركات الاحتراق الداخلى الاخرى .

وقد كان الفحم من أهم المصادر الطبيعية للطاقة فى خلال القرن الماضى ، وما زال مستعملا لانتاج الطاقة حتى اليوم ، وهو يمثل حاليا نحو ٣٠٪ من الطاقة المستغلة اليوم .

ويقدر الفحم الموجود فى باطن الأرض بعدة مئات من البلايين من الأطنان وهى قد تسمح باستغلاله نحو ٣٠٠ ـ ٤٠٠ عام أخرى ، إذا استمر معدل استهلاكنا للطاقة بنفس معدل استهلاكها اليوم .

أما زيت البترول والغاز الطبيعى ، فقد فاق استعمالهما فى انتاج الطاقة استعمال الفحم هذه الايام ، ويقدر أن نحو ثلثى الطاقة المستخدمة اليوم على النطاق الدولى ، تعتمد فى انتاجها على كل من زيت البترول والغاز الطبيعى .

ويمكن القول بصفة عامة ، أن هذه المصادر الثلاثة للطاقة ، وهى الفحم وزيت البترول ، والغاز الطبيعى تمثل ما يزيد على ٩٠٪ من الطاقة المستخدمة فى العالم اليوم .

ولا يتوقع الخبراء أن تحل أية مصادر أخرى للطاقة حتى عام ٢٠٠٠ ، محل هذه المصادر الثلاثة ، وهم يرون أنها ستبقى فى مكان الصدارة حتى نهاية هذا القرن ، ويتوقعون كذلك ألا تقل مساهمتها فى انتاج الطاقة فى أوائل القرن القادم على ٧٥٪ من مجمل الطاقة المستغلة ، بينما ستساهم بقية مصادر الطاقة الأخرى مثل الطاقة الشمسية والطاقة النووية وغيرهما فى انتاج ما تبقى من الطاقة بنسبة لن تزيد على ٢٥٪ .

وهناك بعض الدول التى تستطيع الحصول على كل ما تحتاجه من الفحم من مناجمها الخاصة ، أى أن لديها اكتفاء ذاتيا من الفحم ، ومن أمثلة هذه الدول الولايات المتحدة ، وبريطانيا ، والمانيا ، فهذه الدول تملك من المناجم ما يساعدها على تزويد مصانعها بالطاقة اللازمة ، بل ويمكنها كذلك أن تصدر الفائض من الفحم إلى غيرها من الدول .

وتختلف الصورة تمام الاختلاف بالنسبة للغاز الطبيعى وزيت البترول ، فكثير من الدول الصناعية لا تملك ما يكفيها من البترول ، بل تعتمد فى صناعاتها على استيراد حاجتها من الدول الأخرى ، ومن أمثلة هذه الدول اليابان التى تعتمد اعتمادا كليا على بترول الشرق الأوسط .

وتعتبر منطقة الشرق الأوسط من أغنى مناطق العالم بزيت البترول ، ومع ذلك فان دول هذه المنطقة لا تعتبر من الدول الصناعية ، فهى لا تمتلك من الصناعات سوى قدر متواضع ، ولذلك فان أغلب هذه الدول تعتبر من الدول المصدرة للبترول ، وهى تقوم بتصدير البترول الخام إلى كثير من دول العالم الصناعية ، وتعتبره مصدرا هاما من مصادر دخلها .

وحتى الدول الصناعية التى تمتلك حقولا للبترول فى أراضيها ، فقد

لا يكفيها ما تستخرجه من خام البترول فى آبارها ، ولذلك فقد تحتاج بعض هذه الدول إلى استيراد كميات كبيرة من زيت البترول لاستكمال حاجتها من الخارج .

ومن أمثلة هذه الدول الولايات المتحدة الامريكية ، فعلى الرغم من أن لديها مخزونا كبيرا من خام البترول فى مكامنه الطبيعية فى باطن الأرض ، كما انها تقوم بتخزين كميات أخرى من البترول فى مكامن اصطناعية إلا أنها درجت على استيراد جزء كبير من حاجتها من خام البترول من بعض دول الشرق الأوسط وفنزويلا وغيرها .

ويبلغ المخزون من البترول فى الولايات المتحدة نحو ٣٠ مليار برميل ، واستوردت نحو ٢٨٪ من حاجتها منه من الخارج عام ١٩٨٢ .

ويعتمد استخراج البترول المخزون فى باطن الارض على كثير من العوامل ، بعضها عوامل سياسية ، وبعضها الآخر عوامل اقتصادية ، فقد يكون من الأفضل استيراد البترول الخام من الخارج والاحتفاظ بهذا المخزون فى مكامنه لاستخدامه فى المستقبل عندما تنضب المصادر الأخرى بالخارج .

كذلك قد يتعلق مثل هذا القرار بتكلفة استخراج الزيت المخزون ، فقد تكون تكلفة استخراجه عالية نسبيا ، بينما يكون استيراد الزيت من الخارج أقل تكلفة من استخراجه من الحقول المحلية .

وقد حاولت كثير من الدول الأوربية ، وكذلك الولايات المتحدة واليابان ، ان تقلل من اعتمادها على بترول الشرق الاوسط فى أعقاب الحظر العربى لتصدير البترول نتيجة لازمة الشرق الأوسط والحرب التى نشبت بين العرب والاسرائيليين عام ١٩٧٣ .

وقد نتج عن هذا الحظر قلة المعروض من البترول فى الأسواق العالمية ، وتأثرت بذلك كثير من الدول الصناعية ، واصطفت السيارات والشاحنات فى صفوف طويلة أمام محطات البنزين فى كل من أوربا وأمريكا ، وارتفعت أسعار البترول الخام وأسعار المقطرات الناتجة منه ارتفاعا كبيرا ، فقفز سعر برميل البترول من نحو دولار ونصف تقريبا إلى نحو ٤٠ دولارا فى بعض الاحيان .

وقد تسبب هذا الحظر ، وما صاحبه من ارتفاع فى الأسعار ، فى اصابة اقتصاد كثير من الدول باضرار كبيرة ، فقد ادى ذلك إلى ارتفاع سعر تكلفة كثير من المنتجات الصناعية ، وإلى ارتفاع أسعار كافة السلع فى الأسواق .

وقد أحست بعض هذه الدول بالخطر الذى يتهددها ويهدد أمنها الصناعى ، وقامت باتخاذ كثير من الاجراءات التى تهدف إلى خفض استهلاكها من الطاقة

وإلى تقليل اعتمادها على البترول المستورد ، وعلى البترول العربى بصفة خاصة .

وقد تكون لهذا الغرض نوع من الاتحاد غير المعلن بين الدول المستهلكة للبترول ، وتكوّن فى مقابلته اتحاد آخر معلن من الدول المنتجة للبترول باسم منظمة الدول المنتجة والمصدرة للبترول « الاوبك »

وقد كان هدف الاتحاد غير المعلن بين الدول الصناعية المستهلكة للبترول متعدد الاتجاهات ، وتضمن أحد هذه الاتجاهات البحث عن مصادر جديدة للبترول فى أماكن أخرى من العالم ، ودفع عمليات الاستكشاف والتنقيب للكشف عن حقول جديدة للبترول .

كذلك تضمن أحد هذه الاتجاهات البحث عن بدائل أخرى جديدة للطاقة خلاف البترول ، ويمكن استغلالها صناعيا ، مثل استغلال الطاقة الشمسية أو استخدام الطاقة النووية فى توليد الكهرباء ، وخصصت لذلك اعتمادات مالية ضخمة وضعت تحت تصرف العلماء للصرف منها على بحوثهم وتجاربهم فى هذا المجال .

كذلك قامت هذه الدول بالاهتمام بتخزين الطاقة كما سنرى فيما بعد ، ووضعت مخططا جادا للحد من استهلاكها التزم به الجميع سواء فى المنازل أو فى مجال النقل أو مجال الصناعة .

أما بالنسبة لمنظمة الدول المنتجة والمصدرة للبترول وهى منظمة الاوبك ، فقد كان هدفها الأول هو تنظيم انتاج البترول فيما بينها ، وتحديد حصة محددة لكل دولة من الدول الأعضاء فى هذه المنظمة ، وذلك فى محاولة للسيطرة على السوق العالمية ، والمحافظة على أسعار ثابتة للبترول .

وقد نجحت الدول الصناعية المستهلكة للبترول فى تحقيق أهدافها ، فقد تمكنت هذه الدول من أن تجد مصادر جديدة للبترول فى اماكن اخرى ، مثل ألاسكا وبحر الشمال ، كما استطاعت أن تخفض من استهلاكها للبترول بنسبة كبيرة ، فقد استطاعت الولايات المتحدة أن تقلل من اعتمادها على البترول المستورد بين عامى ١٩٧٩ ـ ١٩٨٣ بنسبة كبيرة وصلت إلى نحو ٤٨٪ من استهلاكها السابق .

كذلك تقدمت البحوث الخاصة بايجاد بدائل لانتاج الطاقة فى كثير من المجالات ، كما كللت بالنجاح الجهود الخاصة بتخزين الطاقة كما سنرى فيما بعد .

وقد أدت قلة الطلب على البترول من الدول الصناعية ، إلى خفض سعر البترول فى السوق العالمى بشكل كبير حتى وصل سعر برميل الزيت إلى نحو عشرة

دولارات فى بداية عام ١٩٨٦ .

أما دول منظمة الاوبك فلم تجد أمامها إلا أن تقلل انتاجها من البترول فى محاولة للحد من تدهور سعره فى السوق العالمى .

ويستخدم الغاز الطبيعى كذلك مصدراً للطاقة فى كثير من الدول ، وهو يساهم بقدر لا بأس به فى انتاج الطاقة فى بعض البلاد ، ففى الولايات المتحدة مثلا يوفر الغاز الطبيعى نحو ٢٥٪ من الطاقة المستخدمة بها .

وتقدر كمية الغاز الطبيعى المخزون فى اراضى الولايات المتحدة بنحو ٦ تريليونات متر مكعب (٦ × ١٠^١٢ م^٣) فى عام ١٩٨٢ ، على حين كانت كمية الغاز التى كانت مختزنة فى أراضيها منذ عشرين عاما ، أكثر من ذلك بمقدار الربع .

ويرجع السبب فى قلة المخزون من هذا الغاز حاليا فى الولايات المتحدة إلى زيادة استخدامه فى انتاج الطاقة ، مع قلة ما استكشف منه خلال الأعوام الماضية .

وتتوقف القيمة الاقتصادية للغاز الطبيعى على طبيعة المناطق التى يتوفر بها ، وهو يشبه فى ذلك زيت البترول ، وذلك لانه عادة ما يوجد مصاحبا له ، فكلما زاد عمق المكمن الذى يوجد به هذا الغاز ، زاد عمق الحفر وزادت بذلك تكاليف انتاجه ، وارتفاع سعر المتر المكعب منه .

ويستخدم الغاز الطبيعى فى جمهورية مصر العربية مصدراً للطاقة فى بعض الصناعات ، مثل مصنع اليوريا فى ابى قير بجوار الاسكندرية ، كما يستخدم وقودا فى المنازل فى عمليات الطهو والتسخين بمدينة القاهرة وضواحيها . وكذلك يستخدم فى محطات توليد القدرة الكهربائية فى شبرا وأبو قير .

ويستخدم الغاز الطبيعى أيضا فى توليد الكهرباء ، ففى الولايات المتحدة بلغت نسبة الكهرباء المولدة من الغاز الطبيعى عام ١٩٨٠ بنحو ١٥٪ تقريباً ، بينما بلغت نسبة الكهرباء المولدة باستخدام الفحم نحو ٦٠٪ ومن زيت البترول نحو ١٠٪ ومن المصادر المائية نحو ١١٪ .

ويعتبر الغاز الطبيعى من أنظف مصادر الطاقة وأيسرها فى الاستعمال ، فهو لا يحتاج إلى معالجة لازالة الشوائب كما فى حالة الفحم ، ولا إلى تجزئة وتقطير لفصل مكوناته كما فى حالة البترول ، ولكنه يستعمل فى أغلب الاحوال بالحالة التى يخرج عليها من باطن الأرض .

ويضاف إلى ذلك أنه يسهل نقل الغاز الطبيعى من مكان لآخر فى خطوط أنابيب مطمورة تحت سطح الارض .

ومن المعتقد أن الغاز الطبيعى سينضب فى نهاية هذا القرن على مستوى العالم ، أو على افضل الظروف فى اوائل القرن القادم ، ولذلك لايمكن الاعتماد عليه كثيرا الا لفترة وجيزة قد لا تتجاوز عشرين عاما .

ويمكن استخدام بعض المصادر المائية فى توليد الطاقة ، خاصة فى توليد الكهرباء ، ولكن مثل هذه المصادر محدودة إلى حد كبير وتعتمد على طبيعة المجرى المائى نفسه .

وتستغل المصادر المائية عادة فى توليد الكهرباء ، وتقام محطات توليد الكهرباء فوق القناطر أو السدود ، أو عند مساقط المياه ، وهى تستغل قوة دفع الماء فى تشغيل التربينات المولدة للكهرباء .

وتستغل المساقط المائية أو الخزانات فى توليد الكهرباء فى بعض الدول ، مثل السويد والولايات المتحدة ، ولكن القيمة الاقتصادية لمثل هذه المصادر المائية محدودة إلى حد كبير فى مثل هذه الدول ، ففى الولايات المتحدة مثلا لا توفر هذه المصادر الا نحو ١١٪ فقط من احتياجاتها من الكهرباء .

وفى جمهورية مصر العربية يستغل كل من السد العالى وخزان أسوان فى توليد الكهرباء ، وذلك بالاضافة إلى بعض محطات توليد الكهرباء الأخرى المقامة فوق بعض القناطر على النيل ، وهى فى مجموعها توفر نحو ١٠ ـ ١٢ مليار كيلو وات ساعة فى السنة .

وهناك بعض المصادر الأخرى التى تصلح نظريا لانتاج مزيد من الطاقة ، ولكن أغلب هذه المصادر ما زالت فى طور البحث والتطوير ، وهى لا تصلح اليوم للاستغلال بشكل اقتصادى ، ولكنها قد تصلح لذلك فى نهاية هذا القرن أو فى أوائل القرن القادم .

وهناك كذلك بعض الصعوبات الفنية التى تؤخر استخدام بعض هذه المصادر الجديدة ، ومن امثلة ذلك خلايا الوقود التى تعمل بكفاءة عالية تصل احيانا إلى ٧٠٪ ، وهى اكفأ بكثير من أنواع الوقود الحفرية الأخرى مثل الفحم وزيت البترول التى لا تزيد كفاءتها على ٤٠٪ على الأكثر ، ولكنها لا تعطى حتى الآن تيارا كهربائيا كافيا لتشغيل الآلات .

ويعتبر استعمال الوقود الغازى ، مثل استخدام خليط من غازى الهيدروجين والاكسجين لانتاج الكهرباء مباشرة دون الحاجة إلى استخدام

غلايات أو تربينات ، من أصلح الطرق وابسطها لتوليد الكهرباء ، فهذا النوع من الخلايا لا تنتج منه ملوثات للبيئة كما فى حالة انواع الوقود التقليدية ، وذلك لان عادم هذه الخلايا هو بخار الماء ، وهو مكون طبيعى من مكونات البيئة المحيطة بنا .

وللأسف الشديد ، فان تكلفة تشغيل هذه الخلايا مازالت حتى الآن مرتفعة إلى حد كبير مما لايسمح باستخدامها بطريقة اقتصادية ، فما زالت تكلفتها أكبر بكثير من تكلفة الطاقة الناتجة من أنواع الوقود المعتادة أو من الطاقة النووية ، ولا شك ان ذلك سيؤدى إلى رفع أسعار الكهرباء الناتجة منها إلى حد كبير .

ولا يمكن فى هذه المرحلة تقييم مثل هذه المصادر الجديدة بدقة كاملة ، فما زالت هناك بعض الصعوبات الخاصة بتشغيلها على نطاق واسع ، كما ان الكثير منها مازال يخضع لبحوث التجديد والتطوير .

وينطبق ذلك أيضا على كل من الطاقة الشمسية والطاقة النووية ، وسيعتمد هذا التقييم مستقبلا على مدى التقدم التكنولوجى الذى سيتحقق على مستوى العالم فى الاعوام القادمة ، وكذلك على مدى نجاح البحوث الجارية فى تطوير مثل هذه المصادر وتحسين أدائها ، وذلك بالاضافة إلى كثير من المتطلبات الاخرى التى يجب مراعاتها مثل الحفاظ على البيئة وأثر مثل هذه المصادر الجديدة على المشكلة العامة للتلوث ، وبالاضافة أيضا إلى بعض العوامل السياسية الأخرى التى تتحكم فى توزيع مصادر الطاقة وكيفية استغلالها .

الفحــــم

يستخرج الفحم من باطن الأرض ، وهو أحد المصادر الهامة للطاقة فى هذا العصر .

ولا يوجد للفحم تركيب ثابت ، فهو خليط من عدة مواد ، ولذلك تتعدد رتبه وانواعه من مكان لآخر ، ويحتوى الفحم على قدر معين ومتغير من الكربون يتوقف على نوع الفحم ورتبته ، كما يحتوى على قدر آخر من المواد المتطايرة بالاضافة إلى قدر قليل من المواد المعدنية وبعض الشوائب الأخرى .

وعند تسخين الفحم تبدأ بعض المواد المتطايرة فى الخروج منه ، وهى تشتعل بلهب مدخن عندما تتقابل مع اكسجين الهواء .

وبارتفاع درجة حرارة الفحم ، يبدأ ما به من الكربون فى الاشتعال ، ويستمر ذلك فترة من الزمان حتى ينتهى ما بالفحم من كربون ، ولا يتبقى منه فى آخر الأمر الا الشوائب المعدنية التى تظهر على هيئة رماد .

وقد عرف الانسان الفحم منذ عدة قرون ، ولكنه لم يستغل ويستعمل كمصدر حقيقى لانتاج الطاقة إلا خلال القرنين الماضيين .

وهناك بعض الآثار التى تدل على أن الانسان قد استخدم الفحم كمصدر للنار فى عصور ما قبل التاريخ ، وذلك للتدفئة ولاعداد الطعام .

ويبدو أن الانسان الأول لم يكتشف الفحم إلا مصادفة ، وربما كان ذلك عندما حاول الانسان أن يستخدم بعض الاحجار فى تسخين الطعام ، واستعمل مع هذه الاحجار قطعا من الفحم على أنها حجارة مثل غيرها من الأحجار .

ولابد أن الانسان الأول قد دهش كثيرا عندما لاحظ أن هذه الأحجار السوداء قد أمسكت بها النيران . وقد عرف الانسان الأول القيمة الحقيقية لهذه الأحجار السوداء منذ ذلك الحين ، واستخدمها بعد ذلك فى إعداد النيران .

وقد عرف الفحم فى كل من الصين وبلاد الاغريق قبل الميلاد ، وجاء ذكره ايضا فى التوراة ، ووصفه كذلك الفيلسوف اليونانى ارسطو الذى عاش فى القرن الرابع قبل الميلاد .

وقد عرفت بعض بلدان اوربا الفحم واستخدمته منذ نحو ألف عام ، فقد تم استخراجه من باطن الأرض فى المانيا فى نهاية القرن التاسع الميلادى ، كما تم تعدينه فى انجلترا فى القرن الثالث عشر ، واستعمل مصدرا للحرارة عند الحدادين ، وفى مختلف الورش والمسابك .

وقد استخدم الفحم منذ قديم الزمان فى عمليات التدفئة والتسخين وإعداد الطعام فى المنازل فى اوربا ، ولكن افراد الطبقة الغنية فى ذلك الحين كانوا يستخدمون الخشب فى هذه الاغراض ، وترك الفحم لافراد الطبقات الفقيرة لا ستخدامه فى منازلهم ، وذلك لان استعمال الفحم كان اقل تكلفة من استخدام الخشب ، كما أن اللهب الصادر من الفحم عادة ما يكون مصحوبا بكثير من الدخان وببعض الروائح غير المقبولة لاحتوائه على آثار من الكبريت .

وعلى الرغم من ان الفحم قد استخدم فى اوربا كمصدر أساسى لانتاج الطاقة حتى نهاية القرن التاسع عشر ، فإنه لم يستخدم بكثرة فى الولايات المتحدة ، وكانت تقع تحت الحكم البريطانى فى ذلك الحين ، وذلك لانتشار الغابات بها وتوافر الخشب فى كل مكان ، ولهذا لم يعتن احد باستخراج الفحم فى ذلك الوقت ، وكانت اغلب انواع الفحم المستعملة هناك مستوردة من الخارج .

وقد بدأ استخراج الفحم من باطن الأرض فى الولايات المتحدة فى القرن الثامن عشر ، ثم انتشرت مناجم الفحم بها بعد قيام الثورة الامريكية . وبمرور الزمن قل اعتماد الولايات المتحدة تدريجيا على الفحم المستورد ، ثم اكتفت بعد ذلك ذاتيا بالفحم المستخرج من أراضيها .

وقد بدأ استخراج الفحم فى منطقة الشرق الأوسط من بعض المناجم فى شبه جزيرة سيناء فى جمهورية مصر العربية خلال النصف الثانى من هذا القرن . ويقدر المخزون منه حاليا فى هذه المناجم بحوالى ٣٥ مليون طن .

وقد أخذ الفحم وضعه الطبيعى كمصدر هام من مصادر الطاقة فى منتصف القرن الثامن عشر عند بدء الثورة الصناعية فى اوربا .

وقد شجع على ذلك ابتكار القاطرة الحديدية ، فى النصف الأول من القرن التاسع عشر ، فقد كانت قطارات السكك الحديدية من اكبر عملاء مناجم الفحم وشركاته ، لانها كانت تستخدمه فى انتاج البخار اللازم لتسيير قاطراتها .

كذلك فقد يسرت هذه القاطرات نقل الفحم من مناطق تعدينه البعيدة عن العمران ، إلى اماكن استخدامه فى المصانع والمدن .

وقد انتشر استخدام الفحم بعد ذلك فى كثير من دول العالم ، وعم استعماله

كمصدر للطاقة فى المصانع ، وفى عمليات التدفئة والتسخين فى المنازل خاصة فى دول اوربا ذات الجو البارد .

وقد اعتبرت الدول التى لا توجد لديها مناجم للفحم فى أراضيها ، أو لا تستطيع لسبب من الأسباب أن تستورد ما يكفيها من الفحم ، على أنها من الدول التى لن تستطيع ان تتقدم ، أو على الأقل لن تتمكن من اللحاق بركب الثورة الصناعية التى عرفتها الدول الأخرى التى تمتلك مناجم للفحم .

ولم يحتفظ الفحم بأهميته كمصدر للطاقة خلال القرن العشرين ، وذلك بعد اكتشاف زيت البترول الذى أصبح من أشد المنافسين للفحم فى هذا الزمان ، بل حل محله تماما فى كثير من الحالات .

ويبدو اليوم أن هذه الصورة ستتغير إلى حد ما ، خاصة بعد أن أشارت كثير من التقديرات إلى احتمال نضوب المخزون من البترول فى باطن الأرض ، خلال الاعوام القليلة القادمة .

وقد بدأ اليوم التفكير مرة اخرى فى اعادة استعمال الفحم بصورة أوسع فى شتى المجالات ، مما يؤشر بأن الفحم سيبدأ فى استعادة مكانته كمصدر للطاقة على المستوى الدولى .

وتجرى الآن كثير من البحوث التى تتعلق بايجاد افضل الطرق وأقلها تكلفة لاستخراج الفحم من باطن الارض ، كما أن هناك بحوثا أخرى تتعلق باستنباط افضل الطرق الممكنة لاستخدام الفحم فى الآلات والمحركات الحديثة ، مع تلافى آثاره الضارة على الصحة العامة وعلى تلوث البيئة .

وتقع أهمية الفحم الأساسية فى أنه يستعمل كمصدر للطاقة فى محطات توليد الكهرباء ، فاغلب هذه المحطات المنتشرة فى أنحاء العالم تستخدم الفحم لتوليد البخار اللازم لادارة تربيناتها ، كذلك يستخدم الفحم بصفة رئيسية فى تصنيع انواع من فحم الكوك تستعمل بعد ذلك فى صناعة الصلب ، وفى تصنيع بعض الفلزات الاخرى .

ويعتبر الفحم كذلك أحد المصادر الهامة لانتاج كثير من المواد الكيميائية الهامة فى حياة الانسان ، وينتج عن تقطيره بمعزل عن الهواء عدة غازات وسوائل ، اهمها السائل المعروف باسم قطران الفحم الذى يستخدم فى تصنيع كثير من المواد الكيميائية الهامة ، مثل الأدوية والأصباغ واللدائن وغيرها .

منشأ الفحم

يتكون الفحم فى باطن الأرض نتيجة لتفحم بقايا النباتات والأشجار ، ولذلك يقال أن الفحم يختزن فى داخله الطاقة الشمسية التى سبق للنباتات أن امتصتها فى أثناء حياتها على سطح الأرض .

وتمتلك أغلب النباتات القدرة على تصنيع غذائها بنفسها ، وهى تفعل ذلك بامتصاص غاز ثانى أكسيد الكربون من الجو ، وامتصاص الماء من التربة ، ثم تصنع منهما معا نوعا من السكر يعرف باسم سكر الجلوكوز ، الذى يسمى كذلك سكر العنب لتوافره فى نبات العنب .

ويتم التفاعل بين الماء وبين غاز ثانى أكسيد الكربون بتأثير ضوء الشمس وفى وجود مادة الكلوروفيل ذات اللون الأخضر والتى تنتشر فى أوراق النباتات وفى خلاياها .

وتستعمل النباتات سكر الجلوكز الناتج من هذا التفاعل الكيميائى الضوئى كمصدر لانتاج الطاقة ، وهى تحول كذلك جزءا كبيرا منه إلى بعض المركبات الكيميائية الاخرى مثل النشا والسليولوز وغيرهما من المركبات التى تدخل فى تركيب أجسامها وتساعدها على النمو والتكاثر .

ومن الملاحظ أن كل هذه المركبات التى تتكون فى خلايا النباتات جاءت أصلا من غاز ثانى أكسيد الكربون الموجود بالهواء ، ولذلك فإن جزيئات كل هذه المركبات تحتوى على عنصر الكربون ، كما يحتوى كل منها على جزء من الطاقة الشمسية التى استخدمت فى انتاجها .

وعندما ينتهى عمر النبات ويذبل تحت الظروف المعتادة ، فإن كثيرا من هذه المركبات العضوية المحتوية على الكربون ، والموجودة بجسم النبات ، تبدأ فى التحلل ، وتتأكسد فى وجود اكسجين الهواء ، وتتحول تدريجيا إلى مركبات ذات جزيئات أصغر ، فتقل بذلك الطاقة المختزنة فى جزيئاتها الأصلية .

وقد تستمر عملية تحلل هذه المركبات إلى نهايتها ، فتتحول هذه المركبات مرة أخرى إلى ثانى أكسيد الكربون والماء ، وهى الجزيئات الأصلية التى تكونت منها هذه المواد فى أجسام النباتات فى بادىء الأمر ، وتوصف هذه الجزيئات الاخيرة ، وهى جزيئات ثانى أكسيد الكربون والماء ، بأنها جزيئات فاقدة الطاقة ، أى أن طاقتها مساوية للصفر .

أما إذا مات النبات واستقر فى قاع مستنقع ما ، فان ماء المستنقع الراكد

الذى يغطى اعواد النبات ، لا يوجد به ما يكفى من غاز الاكسجين ، ولذلك فان اجسام هذه النباتات لا تتأكسد ولا تتحلل تحللا كاملا ، بل يقف تحللها عند حدود معينة لا يتعداها ، وقد يبقى بعضها على حالته الاصلية تقريبا .

وعندما تزداد أعداد النباتات الميتة التى تتجمع فى قاع المستنقع ، فإنها تتكدس بعضها فوق بعض ، وتنضغط تحت ثقلها ، وبمرور الزمن تتحول هذه البقايا النباتية إلى كتلة اسفنجية متماسكة تعرف باسم « الخث » "Peat" .

وتحدث عملية تكوين الخث حتى الآن فى كثير من المستنقعات ، وتشاهد هذه الظاهرة بوضوح فى ايرلندا ، فتحتوى مستنقعاتها على كثير من هذا الخث ، ويستخرجه السكان هناك ، ثم يجففونه ويستعملونه وقودا فى المنازل ، كما يستعملونه فى اخصاب التربة الزراعية أيضا .

ويعتبر تكون الخث الخطوة الأولى فى المشوار الطويل الذى تقطعه البقايا النباتية فى اثناء تحولها إلى الفحم .

وأغلب الفحم الذى نستخرجه اليوم من باطن الارض ، قد تكون فى الزمن السحيق ، منذ ما يقرب من ٢٥٠ مليونا من الاعوام ، فى عصر يطلق عليه علماء الجيولوجيا اسم « العصر الكربونى » "Corboniferous Period" .

ويعتقد علماء الجيولوجيا أن أغلب الاراضى القارية فى ذلك الزمان كانت اراضى منخفضة وتغطى بالماء فى كثير من الاماكن مما ادى إلى إنتشار المستنقعات فى كثير من البقاع .

وقد عاشت فى هذه المستنقعات أنواع متعددة من النباتات التى كانت تختلف عن أنواع النباتات التى نعرفها اليوم ، وبمرور الزمن نمت هذه النباتات وتشابكت ، وتكونت منها ادغال كثيفة ملأت أغلب هذه المستنقعات .

وعندما ماتت هذه النباتات ، تراكمت اعوادها وسيقانها فى قاع هذه المستنقعات ، وتكونت منها طبقات متعددة تكون منها الخث فيما بعد ، بعد مرور عشرات الأعوام .

ولابد أن كثيرا من هذه البقايا النباتية قد دفن بالتدريج تحت الرمال والطين الذى يكون قاع هذه المستنقعات ، وعندما تحركت القشرة الارضية بتأثير الزلازل ، تعرضت هذه البقايا الاسفنجية المعروفة بالخث لضغط شديد ودرجة حرارة مرتفعة فى باطن الأرض .

ونظرا لان هذه البقايا النباتية قد تعرضت للضغط والحرارة فى باطن الارض

بعيدا عن اكسجين الهواء ، فإن أغلب ما بها من مواد عضوية لم يتأكسد ، بل تفحم مباشرة وتحولت هى إلى فحم فى نهاية الأمر .

ومن الطبيعى أن تحول البقايا النباتية إلى فحم ، لم يحدث فى يوم وليلة ، ولكنه احتاج إلى عدة ملايين من السنين ، ويمكننا أن نقول : إن الناتج النهائى لهذا التحول ، وهو الفحم ، قد اختزن فى داخله أغلب الطاقة الشمسية التى كان النبات قد امتصها خلال حياته السابقة على سطح الأرض ، وهذه الطاقة هى الطاقة التى تنطلق عند احتراق الفحم .

ونظرا لأن عملية التحول من النبات إلى فحم تحتاج إلى وقت طويل يقدر بملايين السنين ، فان مثل هذه الرواسب الطبيعية من الفحم لا يمكن تجديدها فى حياة الانسان ، ولذلك يجب المحافظة عليها واستعمالها بحرص شديد وعدم استنزافها .

وعلى الرغم من أن رواسب الخث ما زالت تتكون حتى اليوم فى بعض المستنقعات ، إلا أنه لا يوجد أدنى احتمال لتحول هذه الرواسب إلى فحم فى زماننا هذا ، اللهم إلا إذا حدثت تقلصات جديدة فى القشرة الارضية وتعرضت هذه البقايا النباتية لحرارة باطن الارض العالية وضغطها الهائل .

أنواع الفحم

يصنف الفحم الموجود طبيعيا إلى أربعة أنواع . ويعتمد هذا التصنيف على درجة التفحم التى تعرضت لها البقايا النباتية المعروفة بالخث .

ويطلق على كل نوع من أنواع الفحم اسم خاص كما يلى :

اللجنيت Lignite ، تحت البتيومينى Sub - Bituminous البتيومينى Bituminous ، الانثراسيت Anthracite واللجنيت هو أقل أنواع الفحم جودة ، حيث تقل به نسبة التفحم ، وتظهر به بوضوح بعض البقايا النباتية الأصلية ، وبعض الخلايا الخشبية ، ولهذا يطلق عليه اسم اللجنيت ، وهى كلمة مشتقة من الكلمة اللاتينية "Lignum" وتعنى الخشب .

ونظرا لاحتواء اللجنيت على قدر صغير من المواد المتفحمة ، يقال إنه يحتوى على قدر قليل من الكربون الثابت "Fixed Carbon" ، ولهذا يبدو لونه بنيا ، ويطلق عليه أحيانا اسم الفحم البنى .

ويحتوى فحم اللجنيت على نسبة عالية من المواد المتطايرة ، كما توجد به

نسبة عالية من الرطوبة ، وبصفة عامة فإن قيمته الحرارية منخفضة .

أما الفحم تحت البتيوميني فهو أسود اللون ، ولا تبدو فيه آثار الخلايا النباتية بوضوح ، اى لا يمكن رؤيتها بالعين المجردة .

وقد اشتقت كلمة البتيومين من الكلمة اللاتينية "Bitumen" وتعنى القار ، وهى كلمة استعملت كثيرا لوصف عدد آخر من المواد التى تقبل الاشتعال مثل الاسفلت وبعض المواد المشابهة .

والفحم تحت البتيوميني ، متوسط التفحم ، ولهذا فهو يحتوى على قدر متوسط من الكربون الثابت يصل إلى نحو ٤٠٪ من وزنه ، ويحتوى كذلك على قدر متوسط من الرطوبة قد تصل إلى حوالى ٢٥٪ من وزنه الكلى .

أما الفحم البتيوميني فيمثل مرحلة متقدمة فى عملية تفحم البقايا النباتية ، ولهذا نجد ان نسبة الكربون الثابت فيه تزداد كثيرا ، وتصل فى بعض الاحيان إلى حوالى ٧٠٪ من وزنه الكلى ، بينما تقل نسبة الرطوبة فيه عما سبقه من أنواع ، ولا تزيد فيه على ١٥٪ فى المعتاد .

والفحم البتيوميني فحم جيد ، فهو سهل الاشتعال لقلة ما به من رطوبة ، ولذلك يعتبر مصدرا جيدا للطاقة .

ويعرف الفحم البتيوميني أحيانا باسم الفحم الحجرى ، وهو يشتعل بلهب اصفر مدخن ، ويصاحب اشتعاله تصاعد بعض الروائح الكريهة وذلك لاحتوائه على نسبة صغيرة من الكبريت الذى يتأكسد عند احتراقه ويتحول إلى غاز ثانى اكسيد الكبريت ، وهو الغاز الذى يسبب الرائحة الكريهة ويسبب كذلك تلوث الهواء .

أما فحم الانثراسيت فهو يعتبر من أرقى أنواع الفحم ، وتصل فيه نسبة التفحم إلى درجة عالية ، فتبلغ فيه نسبة الكربون الثابت إلى نحو ٩٠٪ أو أكثر ، كما تقل فيه تبعا لذلك نسبة الرطوبة إلى حد كبير ، فلا تزيد فيه على ١ ـ ٢٪ من وزنه الكلى .

وقد اشتق اسم هذا الفحم من الكلمة الاغريقية "Anthrax" وهى تعنى الفحم ، وذلك للدلالة على جودته العالية .

ويتصف فحم الانثراسيت بلونه الأسود وسطحه اللامع ، وهو يحترق ببطء شديد ، ويحتاج اشتعاله إلى وقت أطول من الوقت اللازم لاشتعال أنواع الفحم الاخرى ، ولكنه يعطى قدراً أكبر من الحرارة عند اشتعاله ، ولذلك يقال أن قيمته

الحرارية أعلى من القيمة الحرارية لبقية أنواع الفحم الأخرى .

ويشتعل فحم الانثراسيت بلون ازرق باهت لقلة ما به من مواد متطايرة ، كما لا ينتج عن اشتعاله دخان يذكر ولا رائحة كريهة ، ولا يترك وراءه رمادا لعدم احتوائه على شيء يذكر من الشوائب المعدنية ، ولخلوه تقريبا من عنصر الكبريت .

ويوجد فحم الانثراسيت فى الطبقات الصخرية التى سبق أن تعرضت لضغوط هائلة أثناء تكوين الجبال فى العصور الجيولوجية القديمة ، على حين توجد أنواع الفحم الأخرى ، التى تقل درجة تفحمها عن الانثراسيت ، فى باطن الأرض فى المناطق التى تعرضت لدرجة أقل من الضغط والحرارة .

تعدين الفحم

لا يوجد الفحم عاريا على سطح الأرض إلا نادرا ، ولكنه يوجد فى أغلب الأحوال فى باطن الأرض على هيئة تجمعات أو رواسب يختلف عمقها من حالة إلى أخرى .

ويحتاج الأمر فى أغلب الحالات إلى إبتداع وسائل مبتكرة واقتصادية لاستخراج هذا الفحم من مناجمه .

وعندما تكون رواسب الفحم قريبة من سطح الأرض ، أى عندما تكون طبقات التربة والصخور التى تغطى هذه الرواسب قليلة السمك ، فإنه يمكن عندئذ إستخدام الطريقة التى تعرف باسم التعدين السطحى "Strip Minning" وهى تتضمن ازالة التربة السطحية التى تغطى هذه الرواسب لكشف طبقات الفحم واستخراجها .

أما إذا كانت رواسب الفحم على عمق كبير من سطح الأرض ، فإن طريقة التعدين السطحى تصبح غير صالحة لصعوبة إزالة طبقات التربة والصخور السميكة التى تغطى هذه الرواسب ، ولذلك يلزم حفر آبار فى هذه التربة ، وصنع أنفاق تصل إلى رواسب الفحم .

وتعرف هذه الطريقة باسم **التعدين الأرضى** ، ويطلق على الأنفاق والممرات التى تحفر تحت سطح الأرض اسم **المناجم** .

التعدين السطحى

تصلح هذه الطريقة لا ستخراج رواسب الفحم السطحية أو رواسب الفحم التى تكون على عمق قليل من سطح الأرض .

وتستعمل بعض المعدات الحديثة فى ازالة طبقات التربة التى تغطى رواسب الفحم ، وعندما تنكشف هذه الرواسب ، يتم تكسيرها بمعدات خاصة أو بالمتفجرات ، ثم تنقل بالشاحنات .

والمعدات المستعملة فى ازالة التربة فى هذه الطريقة قد تطورت كثيرا ، فاحدى آلات الحفر الحديثة المستخدمة لهذا الغرض تزن نحو ٢٠٠٠ طن ، وبها عجلة ضخمة يصل قطرها إلى ثمانية امتار ، وعندما تدور هذه العجلة تحفر التربة وتنقل فتات الفحم فى نفس الوقت إلى سيور خاصة ومنها إلى الشاحنات .

وتعمل هذه الآلة بسرعة كبيرة حتى ان معدل سرعة الحفر وازالة التربة السطحية قد يصل إلى طن كل ثانية .

وعندما تكون طبقات التربة التى تغطى رواسب الفحم سميكة إلى حد ما ، ولا يسهل ازالتها بالطريقة السابقة ، كأن تكون هذه الرواسب واقعة تحت أحد التلال ، فانه يمكن استخدام طريقة اخرى قريبة الشبه من الطريقة السابقة .

ويتم فى هذه الحالة تعرية رواسب الفحم فى احد جوانب التل ، ثم تستخدم آلة خاصة تشبه المثقاب لاختراق هذه الرواسب افقيا وتفتيتها ، وتستعمل هذه الطريقة فى كثير من البلدان ، ويبلغ قطر هذا المثقاب مترين فى بعض الأحيان .

وعلى الرغم من انخفاض تكلفة عمليات التعدين السطحى ، إلا أنها تعتبر شديدة الضرر بالبيئة المحيطة بها ، فهى تحيل المنطقة التى يجرى فيها العمل إلى مجموعة من الحفر العميقة والتلال ، وتشيع بها حالة من الفوضى الشديدة ، مما يجعل سطح التربة فى هذه المنطقة غير صالح للزراعة وغير صالح للبناء .

وقد فطنت كثير من الدول التى يستخرج فيها الفحم بهذه الطريقة إلى هذه الأضرار ، فقامت باصدار تشريعات خاصة وقوانين ، تفرض على الشركات التى تعمل بطريقة التعدين السطحى ، القيام بتسوية سطح التربة واعادتها إلى طبيعتها . وتعاقب هذه القوانين كل من يترك سطح الارض محفورا بهذا الشكل بعد استخراج الفحم .

التعدين الأرضى

توجد أغلب رواسب الفحم على عمق كبير فى باطن الارض ، ولذلك فان طريقة التعدين الارضى التى تشمل انشاء المناجم فى باطن الارض ، هى الطريقة التى يغلب استعمالها لاستخراج الفحم فى كل مكان .

وعندما تكون رواسب الفحم على عمق متوسط من سطح الارض ، فانه يفضل حفر انفاق مائلة للوصول إلى هذه الرواسب .

أما إذا كانت رواسب الفحم على عمق كبير فى باطن الارض ، فتحفر لهذا الغرض انفاق رأسية متعامدة على سطح التربة ، لتصل بين سطح الأرض ورواسب الفحم .

ويصل عمق هذه الانفاق إلى حد كبير فى بعض الحالات ، ويتوقف ذلك طبعا على بعد رواسب الفحم عن سطح الارض ، ففى الولايات المتحدة مثلا لا توجد رواسب الفحم على عمق كبير ، ولذلك لا يزيد عمق هذه الأنفاق الرأسية على ٥٠٠ متر فى المتوسط ، بينما توجد رواسب الفحم فى اوربا على عمق كبير فى بعض الأحيان ، ولذلك فقد يصل عمق البئر الرأسية فى اوربا إلى نحو ١٠٠٠ متر فى باطن الأرض .

وعندما تصل هذه الانفاق إلى العمق المطلوب بالقرب من رواسب الفحم ، تبدأ عملية انشاء المنجم ، وتحفر مجموعة من الممرات والحجرات التى تخترق رواسب الفحم .

ويستعمل العمال مصاعد خاصة للنزول فى هذه الانفاق الرأسية ، وتستخدم هذه المصاعد كذلك لانزال المعدات المستعملة فى الحفر ، ولنقل الفحم إلى سطح الأرض .

وهناك ثلاث طرق رئيسية لا ستخراج الفحم من باطن الأرض . وتعرف إحدى هذه الطرق بطريقة **الغرف والاعمدة** "Room and Pillar" وهى تتضمن حفر مجموعة من الحجرات داخل رواسب الفحم نفسها ، مع ترك كتل من هذه الرواسب على هيئة أعمدة لتحمل سقف المنجم ، وتقويتها ببعض الدعائم من حين لآخر .

وتستعمل هذه الطريقة كثيرا فى مناجم الولايات المتحدة ، ولا تترك أعمدة الفحم الحاملة لسقف المنجم بعد انتهاء العمل فى هذا المنجم ، وإلا اعتبر ذلك تبديدا لكميات كبيرة من الفحم ، ولذلك يتم تكسير هذه الأعمدة الفحمية

واستخراج ما بها من فحم فى نهاية عمليات التعدين ، ويترك سقف المنجم لينهار تحت ثقله الطبيعى .

وهناك طريقة اخرى لتعدين الفحم تعرف باسم طريقة « الجدار الطويل » "Long Wall Minning" ، يكون فيها وجه رواسب الفحم المعرض لعملية التعدين ، طويلا وعريضا بدرجة كافية .

وتستعمل فى هذه الطريقة معدات خاصة بها عجلات مسننة تقطع الفحم من هذا الجدار عند دورانها ، وتقام فى هذه الحالة دعامات قوية لحمل سقف المنجم كلما تقدم العمل . وتستخدم هذه الطريقة عادة فى اوربا ، ولكنها قليلة الاستخدام فى الولايات المتحدة .

وهناك كذلك طريقة « الجدار القصير » "Short Wall Minning" ويكون فيها وجه رواسب الفحم المعرض لعملية التعدين والقطع ، قصير إلى حد ما .

وتعتبر طريقة الجدار الطويل أكثر فائدة من الناحية الاقتصادية فهى تساعد على استخراج قدر أكبر من رواسب الفحم من المنجم ، كما أنها تكون أكثر صلاحية عندما تكون رواسب الفحم على عمق كبير من سطح الأرض .

وطريقة استخراج الفحم المسماة بطريقة الغرف والأعمدة ، هى أقل هذه الطرق تكلفة ، فتصل تكاليفها إلى نحو عشر تكاليف طريقة الجدار الطويل ، وذلك لان الطريقة الاخيرة تزيد فيها تكاليف الحفر واقامة الدعائم وما إلى ذلك .

وقد كانت عمليات التعدين فيما مضى عمليات بدائية إلى حد كبير ، فكان الفحم يستخرج باستخدام المعاول وبعض المعدات اليدوية الأخرى ، أو باستخدام المتفجرات فى بعض الأحيان ، وكثيرا ما كان الفحم ينقل من المناجم إلى سطح الارض فى عربات تجرها البغال خلال ممرات طويلة مائلة تصل المنجم بسطح الأرض .

وتستعمل الآن بعض الآلات الحديثة التى تقوم بكل هذه الاعمال معا ، فهى تقوم بتخريم رواسب الفحم بآلات خاصة ، ثم توضع المتفجرات فى هذه الثقوب ، وتجمع فتات الفحم الناتجة بهذه الآلات على سيور خاصة .

وقد استعمل الديناميت فيما مضى لتكسير رواسب الفحم داخل المناجم ، وقد نشأت عن ذلك عدة مخاطر نتيجة لصعوبة التحكم فى الطريقة التى ينفجر بها الديناميت ، ولذلك يستعمل الآن فى كثير من الدول ، نوع خاص من المتفجرات لهذا الغرض .

وتعرف هذه المتفجرات باسم « **المتفجرات المسموح بها** » "Permissible Explosives" ، وهى تعتبر اكثر أمنا من الديناميت ، فهى تحترق بلهب قصير ، وعند درجة حرارة أكثر انخفاضا من درجة حرارة اشتعال الديناميت ، فتقل بذلك خطورتها إلى حد كبير .

وتستعمل أحيانا بدلا من هذه المتفجرات ، **اسطوانات تحتوى على غاز ثانى اكسيد الكربون المضغوط ، أو الهواء المضغوط** ، وهى تصلح لتكسير الفحم من سطح الرواسب بنفس كفاءة المتفجرات ، ولكنها تخلو من الآثار الحرارية الناتجة من اشتعال المتفجرات .

ويمكن كذلك استعمال ضغط الماء لتفتيت الفحم من جدران المنجم ، ويتم ذلك عادة باستعمال خراطيم خاصة يدفع فيها الماء تحت ضغط مرتفع بواسطة بعض المضخات القوية ، وقد استعملت هذه الطريقة بكفاءة فى مناجم الفحم فى الاتحاد السوفيتى وفى اليابان .

وتستخدم فى عمليات نقل قطع الفحم من المنجم إلى سطح الأرض وسائل مختلفة ، فقد تستخدم فى ذلك عربات خاصة تشبه العربات المجنزرة ، وهى تقوم بنقل كتل الفحم ذات الاحجام المختلفة إلى مناطق تجميع خاصة فى داخل المنجم .

وفى بعض المناجم الكبيرة تستخدم آلات كبيرة من نوع خاص ، وهى تقوم تقريبا بكل الاعمال المطلوبة داخل المنجم ، فهى تقطع كتل الفحم من جدران المنجم بواسطة عجلات مسننة ، ثم تحمل هذه القطع بعد ذلك إلى مؤخرة الآلة بواسطة ميكانيكية خاصة حيث يتم تعبئتها فى عربات خاصة لنقلها إلى مناطق التجميع .

وتعرف هذه الآلات باسم « **المعدِّن المستمر** » "Continuous Miner" ويبلغ بعضها حدا هائلا من الكفاءة ، فقد يصل ما تقطعه وتنقله من كتل الفحم إلى ثمانية أطنان فى الدقيقة الواحدة .

ويتم نقل كتل الفحم من مناطق التجميع فى داخل المناجم إلى سطح الأرض بعدة طرق ، ففى حالة المناجم ذات الأنفاق المائلة ، يتم ذلك بواسطة سيور خاصة تتحرك فى هذه الانفاق المائلة ، أما فى حالة المناجم ذات الأنفاق الرأسية ، فيتم ذلك بواسطة مصاعد خاصة .

الأخطار التى يتعرض لها عمال التعدين

يتعرض العمال الذين يعملون فى مناجم الفحم لكثير من الأخطار وأهم هذه الأخطار هى احتمال حدوث الانفجارات ، أو حدوث بعض الانهيارات التى تؤدى إلى سقوط سقف المنجم فوق رؤوس من يعملون فيه ، وهى أخطار يروح ضحيتها عدد كبير من العمال فى بعض الأحيان .

وتتركز أغلب إصابات العمال داخل المناجم عادة ، أمام سطح الحفر وفى المنطقة المواجهة له ، وهى منطقة العمل الرئيسية فى المنجم ، ولهذا فإن أغلب البحوث الخاصة بتقليل الأخطار التى يتعرض لها عمال المناجم ، تدور بصفة خاصة حول ابتكار بعض الآلات أو الأجهزة التى يمكن أن تقوم بالعمل فى هذه المنطقة بدلا من العمال .

ويعتبر غاز الميثان من أخطر العوامل التى تؤدى إلى حدوث الانفجارات داخل مناجم الفحم .

وينتج غاز الميثان عادة عند تحلل بقايا النباتات فى المستنقعات ، ولذلك فهو يعرف احيانا باسم غاز المستنقعات "Marsh Gas" ، وهو يشتعل بلهب أزرق عندما يختلط بأكسجين الهواء .

ويوجد غاز الميثان كذلك مصاحبا للفحم فى مناجمه ، ولذلك يجب الاحتراس الشديد عند استخراج الفحم حتى لا يشتعل هذا الغاز ، ويؤدى إلى انفجار المنجم . .

وقد ترتفع نسبة غاز الميثان فى هواء المنجم إلى حدود كبيرة قد تصل فى بعض الاحيان إلى نحو ١٥٪ من الحجم الكلى للهواء ، ولهذا يلزم دائما الكشف عن وجود هذا الغاز وتعيين نسبته فى الهواء الذى يملأ جميع ممرات وحجرات المنجم وأنفاقه .

ويكون غاز الميثان مع الهواء خليطا متفجرا ، خاصة عندما ترتفع نسبته عن حدود معينة ، وهو يعرف فى أوربا باسم "Fire Damp" ويشتعل هذا الخليط بسهولة عند ملامسته لأى مصدر حرارى ، أو عند تعرضه لشرارة من احدى الآلات ، وعند انفجاره يسبب اضرارا بالغة للعمال القائمين بعملية التعدين ، وقد يؤدى مثل هذا الانفجار إلى انهيار المنجم كله فوق رؤوس العاملين فيه .

وأولى الاحتياطات التى استخدمت لمنع حدوث الانفجارات الناتجة من اشتعال غاز الميثان فى المناجم ، كانت باستخدام مصباح خاص ابتكره العالم

البريطانى « سير همفرى ديفى » "Sir Humphry Davy" عام ١٨١٥ ، وعرف فيما بعد باسم مصباح الأمان .

ومصباح الأمان مصباح عادى ، إلا أن شعلته تحيط بها شبكة من أسلاك النحاس على هيئة إسطوانة .

وعند وجود قدر من غاز الميثان فى هواء المنجم ، تبدأ شعلة هذا المصباح فى التوهج وتزداد فى الحجم نتيجة لاشتعال غاز الميثان الذى تسرب إلى داخل المصباح .

ولا ينتقل هذا اللهب من داخل المصباح إلى الجو المحيط به ، لأن الشبكة المعدنية المحيطة بشعلة المصباح تمنع انتقال الحرارة من داخل المصباح إلى خارجه .

وتعتبر زيادة طول الشعلة وتوهجها فى داخل المصباح ، علامة جيدة تنبه القائمين بالعمل فى المنجم على وجود غاز الميثان فى الجو المحيط بهم .

ولا توجد هناك احتمالات لحدوث الانفجارات ، وذلك لانه عند زيادة نسبة غاز الميثان عن حد معين ، يطفأ المصباح تلقائيا لعدم وجود قدر كاف من الاكسجين لاستكمال عملية الاشتعال .

وقد استخدم هذا المصباح بكفاءة مدة طويلة داخل المناجم فى اوربا وامريكا ، وانتقل منها إلى كثير من دول العالم .

ويستعمل حديثا جهاز آخر أكثر تطورا ، يستطيع قياس نسبة غاز الميثان فى هواء المنجم ، وهو بذلك ينبه العاملين فى المنجم إلى زيادة نسبة هذا الغاز فى الهواء لاتخاذ الاحتياطات اللازمة قبل الوصول إلى درجة الانفجار .

وهناك مجموعة متخصصة من العمال الذين يحملون هذه الاجهزة ، وهم يطوفون بها جميع أرجاء المنجم ، وتكون مهمتهم الرئيسية الكشف عن نسبة غاز الميثان فى هواء المنجم .

وتعرف هذه المجموعة من العمال باسم "Fire Boses" وهى تعنى رؤساء النيران عند ترجمتها حرفيا ، ويفضل تسميتهم بمانعى النيران ، فهذه هى وظيفتهم الأساسية .

وغاز الميثان غاز مخادع ، فهو قد ينتشر فى هواء المنجم كله ، وقد يتجمع فقط فى أحد أركان المنجم ، أو يملأ أحد الجيوب أو الممرات المنعزلة ، فلا يشعر بوجوده

أحد ، وهو بهذه الصورة الأخيرة قد يصعب اكتشافه رغم أنه يمثل خطرا شديدا على المنجم بأكمله .

ولهذا السبب فان مجموعة العمال التى تحمل أجهزة الكشف عن الميثان عليها أن تتجول فى كل الممرات والانفاق فى داخل المنجم ، ولا تترك ممرا جانبيا أو مكانا منعزلا دون أن تجوب فيه .

ولا يعتبر غاز الميثان هو المصدر الوحيد للخطر داخل مناجم الفحم ، بل يشترك معه كذلك غاز ثانى اكسيد الكربون ، وهو غاز أثقل من الهواء ، وعادة ما يتجمع بنسبة عالية فى الاماكن المنعزلة من المنجم .

وغاز ثانى أكسيد الكربون لا يشتعل ولا يساعد على الاشتعال ، ولهذا لا يعتبر خطيرا من هذه الناحية ، ولكن خطورته تقع فى انه يسبب الاختناق لمن يستنشقه ، ولذلك فهو يعرف بين عمال المناجم باسم **مسبب الاختناق** "choke Damp" .

كذلك قد يحتوى هواء المنجم على نسبة ما من غاز اول اكسيد الكربون ، وهو غاز سام ومميت ، ولكن هذا الغاز لا يوجد عادة إلا فى أعقاب الحرائق ، أو عقب حدوث احد الانفجارات .

وبالاضافة إلى كل هذه الغازات ، فان غبار الفحم الذى قد يملأ هواء المنجم يعتبر واحدا من الأخطار التى قد يتعرض لها عمال المناجم : فاستنشاق هذا الغبار يؤدى إلى تلوث الرئتين وإلى اصابة العمال بذلك المرض المعروف باسم « **الرئة السوداء** » "Black Lung" .

وينتج غبار الفحم عند تكسير رواسب الفحم داخل المنجم ، وهو قد ينتشر فى هواء المنجم كله ، ويزداد تركيزه بصفة خاصة عند سطح الحفر فى منطقة التشغيل .

وعندما ينتشر غبار الفحم فى الهواء على هيئة دقائق متناهية فى الصغر ، فانه يصبح شديد الشبه بالغازات فى صفاته ، وهو يكون مع الهواء فى حالته هذه ، خليطا متفجرا يشتعل بعنف شديد عند صدور شرارة ما من احدى الآلات المستخدمة فى الحفر .

وتمثل المياه الجوفية خطرا آخر على عمال التعدين ، ويزداد احتمال تجمع المياه الجوفية فى ممرات المناجم وأنفاقها عندما تكون هذه المناجم على عمق كبير من سطح الارض .

ويؤدى تجمع هذه المياه إلى إعاقة حركة العمال فى ممرات المنجم كما تؤدى إلى بعض الصعوبات المتعلقة بادارة الآلات ، بالاضافة إلى صعوبة تجميع الفحم ونقله من مكان لآخر داخل المنجم .

وقد يؤدى تجمع الرطوبة على جدران المناجم إلى تمدد بعض الصخور المكونة لجدران هذه المناجم ، وإلى تفكك بعض الصخور المكونة لسقف هذه المناجم ، وقد يتسبب ذلك فى انهيار بعض هذه الجدران فوق رؤوس العمال .

ويجدر بنا ان نذكر ان استخراج الفحم من المناجم ينشأ عنه تكون بعض الفراغات فى باطن الارض ، وإذا لم يحسب حساب ذلك جيدا ، وتتخذ الاحتياطات اللازمة ، فقد تحدث فى هذه المواقع بعض الانهيارات غير المتوقعة ، مما قد ينشأ عنها حدوث خسائر جسيمة فى الأرواح والممتلكات فى المناطق السكانية الواقعة فوقها .

الوسائل الحديثة للتخلص من الأخطار

هناك كثير من البحوث التى تجرى حاليا لابتكار وسائل مستحدثة للتقليل من الأخطار التى قد يتعرض لها عمال المناجم فى أثناء استخراج الفحم من باطن الارض .

وتتناول بعض هذه البحوث ابتكار طرق عملية للتخلص من غاز الميثان وازالته من جو المنجم ، مع الاستفادة منه فى نفس الوقت ، باستعماله كوقود بديلا للغاز الطبيعى .

كذلك زودت بعض مناجم الفحم بمراوح ضخمة تساعد على تهوية المنجم بطريقة جيدة ، وهى تقوم بضخ الهواء النقى إلى كل مكان فى المنجم ، مع التخلص من الغازات الضارة التى يحتمل وجودها فى جو المنجم .

ولا يكتفى بوجود مثل هذه المراوح الضخمة عند فوهة المنجم بل توضع كذلك مراوح اخرى فى ممرات المنجم المتشعبة للمساعدة على تحريك الهواء وتخفيف نسبة الغازات الضارة فيه ، ومنع تجمعها فى مكان واحد .

وتحتاج عملية تهوية مناجم الفحم إلى كثير من الحسابات ، وتتضمن هذه الحسابات عدة اعتبارات ، منها كفاءة المراوح المستخدمة وقوتها ، وأطوال الأنفاق الداخلية للمنجم وأقطارها ، وكذلك الطريقة التى تتشعب بها هذه الممرات .

وقد أمكن التخلص من غبار الفحم فى بعض المناجم باطلاق رذاذ من الماء

عند وجه التشغيل ، مما يساعد على التقليل من انتشار هذا الغبار فى الهواء .

كذلك لجأت بعض المناجم إلى رش مسحوق الحجر الجيرى بآلات خاصة على أرضية الممرات ، فيختلط هذا المسحوق مع غبار الفحم ويمنع انتشاره ، كما يؤدى إلى تخفيف غبار الفحم بنوع آخر من الغبار لا يقبل الاشتعال ، وبذلك تقل خطورة انفجاره إلى حد كبير .

وتقتضى هذه الوسائل الحديثة كذلك أن يرتدى العمال القائمون بالعمل فى منطقة التشغيل أقنعة خاصة لحمايتهم من الآثار الضارة لغبار الفحم وحتى لا يتعرضوا للاصابة بمرض الرئة السوداء .

ويمكن كذلك مقاومة رشح المياه الجوفية فى المناجم باقامة نظام جيد للصرف يسمح بسحب المياه بانتظام ويمنع تجمعها فى المنجم .

وعادة ما يتم تجميع هذه المياه فى خزانات خاصة فى داخل المنجم ، ثم ترفع بعد ذلك هذه المياه بمضخات خاصة لتلقى بها خارج المنجم فوق سطح الأرض .

ويجب أن يتم التخلص من هذه المياه المحملة بغبار الفحم والتى تحتوى على كثير من الشوائب الاخرى ، بعناية كبيرة حتى لا تتلوث المنطقة المحيطة بالمنجم .

وللقضاء على أخطار الانهيارات التى قد تتعرض لها بعض مناجم الفحم ، تستعمل عادة دعائم من الصلب أو من الخشب لتثبيت الصخور التى تكون أسقف حجرات التشغيل وممرات المنجم .

وتجرى حاليا بعض التجارب التى تتضمن حقن هذه الصخور المكونة لأسقف المناجم وجدرانها بنوع خاص من الراتنجات الصناعية لزيادة تماسكها ومنعها من الانهيار ، ولزيادة مقاومتها للرطوبة أيضا .

وهناك طرق اخرى ميسرة لحماية هذه الصخور من التفتت بتأثير الرطوبة ، وذلك برش خليط من الاسمنت والرمل على أسقف المنجم وجدرانه ، ويتحول هذا الخليط عند جفافه إلى طبقة صلبة صماء غير منفذة للماء ، تحمى الصخور من فعل الرطوبة بها .

وبجانب كل هذه الاحتياطات المتبعة اليوم فى أغلب مناجم الفحم ، فإنه من المتبع أيضا أن يرتدى عمال هذه المناجم ملابس خاصة تساعد على وقايتهم من الأخطار الأخرى التى قد تقابلهم أثناء عملهم ، ومثال ذلك ارتداؤهم لأحذية ثقيلة من الجلد السميك ، تحتوى مقدمتها على جزء واق من الصلب لحماية أطراف أصابع القدمين ، وارتداؤهم لعوينات خاصة غير قابلة للكسر لحماية أعينهم من

الشظايا المتطايرة ، واستخدامهم لخوذات صلبة لحماية رؤوسهم من الصخور المتساقطة .

وتخدم هذه الخوذات غرضا آخر كذلك ، فهى تحمل فى مقدمتها مصباحا قويا من نوع مصابيح الأمان التى لا تسبب اشتعال الغازات ، ويتم تشغيل هذا المصباح ببطارية خاصة يحملها العامل فى حزامه .

كذلك تهتم بعض الدول بتلقين عمال المناجم بعض الدروس الخاصة بالاسعافات الأولية ، حتى يتمكنوا من مجابهة بعض حالات الطوارىء البسيطة ، ويتمكنوا كذلك من القيام بعلاج بعض الحوادث التى قد تقع لبعض زملائهم فى داخل المنجم .

تجهيز الفحم للمستهلك

لايصلح الفحم الخارج من المنجم لاستعماله مباشرة ، وذلك لأنه يكون عادة على هيئة كتل متفاوته الأشكال والأحجام ، كما أنه يحتوى على قدر كبير من الفتات وتراب الفحم المختلط ببعض فتات الصخور ، وببعض الأتربة الناتجة فى أثناء عمليات الحفر .

ويتطلب الأمر معالجة هذا الفحم بطرق خاصة لتصنيفه وجعله صالحا للاستعمال فى مختلف الأغراض قبل طرحه فى الأسواق .

وتتم معالجة الفحم عادة فى مصنع مخصص لهذا الغرض ، فيوضع الفحم الوارد من المناجم على سيور خاصة تحمله الى قمة هذا المصنع ، ويبدأ من هناك فى المرور على مجموعة من المناخل المختلفة ، فيتم فصله الى أجزاء متجانسة ، يتكون كل منها من كتل متشابهة فى الحجم ، وتفصل منها كل الشوائب والاتربة والرمال وفتات الصخور .

أما كتل الفحم الكبيرة فيعاد تكسيرها فى آلات طحن خاصة تحولها الى كتل متوسطة الحجم ، وتضم هذه الكتل بعد ذلك الى بقية الفحم لتنخل من جديد .

ويتبقى من كل ذلك كتل الفحم الصغيرة جدا ، وهى تكون مختلطة بكثير من فتات الصخور ، وهى تفصل بعدة طرق ، وتسمى إحدى هذه الطرق **بطريقة التعويم** ، فتلقى هذه الكتل الصغيرة فى احواض مملوءة بالماء ، فتطفو قطع الفحم فوق سطح الماء لأنها أخف وزنا ، على حين ترسب الأتربة والصخور فى القاع لأنها أثقل فى الوزن .

وهناك طرق أخرى لفصل كتل الفحم الصغيرة من الأتربة وفتات الصخور ، وذلك بدفع تيار من الماء فوق قطع الفحم المحملة على شبكة معدنية ، أو بدفع تيار من الهواء فوق هذه الكتل لتنظيفها من الشوائب .

وغالبا ما تكون هذه المصانع أو الوحدات المستخدمة فى معالجة الفحم واعداده للمستهلك ، من النوع ذاتى التشغيل فهى لا تحتاج إلا لعدد قليل من العمال .

ويصنف الفحم بعد انتهاء معالجته بالطريقة السابقة الى عدة « رتب » "Grades" ، وهى تختلف عن أنواع الفحم التى سبق ذكرها ، فالنوع تقسيم طبيعى يتعلق بالحالة التى يوجد عليها الفحم فى الطبيعة ، أما الرتبة فهى تصنيف متفق عليه يوصف به الفحم المعالج والمعد للطرح فى الأسواق ، وهى تعتمد على نسبة ما بهذا الفحم من رواسب معدنية (نسبة الرماد) ، ونسبة ما به من عنصر الكبريت .

وعادة ما تطلق أسماء خاصة على قطع الفحم ، وذلك تبعا لأحجامها المختلفة ، وتشبيها لها ببعض الأشياء الأخرى التى نراها كل يوم فى حياتنا اليومية ، فتوصف بعض أشكال الفحم البتيومينى وفحم الانثراسيت بالأسماء التالية :

بيض	Egg	بندق	Nut
كتل	Lumps	قطع الموقد	Stove
بسلة	Pea	رخو	Slack
أرز	Rice		

ومن الملاحظ أن هذه الأسماء والأوصاف تتعلق أساسا بحجم كتل الفحم وشكلها العام .

طرق نقل الفحم

لا يستخدم الفحم فى أماكن استخراجه ومعالجته دائما ، بل يتم نقله فى أغلب الأحيان الى مناطق استخدامه ، والى الأسواق العالمية التى قد تبعد عن مناجمه بآلاف الكيلومترات .

وعادة ما يتم نقل الفحم بالسكك الحديدية فى عربات مخصصة لهذا الغرض وذات شكل خاص ، ويغلب أن تكون هذه العربات مخروطية القاع حتى يسهل

تفريغها دون الحاجة الى استخدام معدات خاصة لذلك .

وقد تستخدم الشاحنات فى نقل الفحم ، كما قد تستخدم الأطواق فى نقله عن طريق المجارى المائية والأنهار ، وتفضل هذه الطريقة الأخيرة عندما تكون مناجم الفحم قريبه من الأنهار .

كذلك تستخدم بعض السفن والناقلات البحرية المخصصة لهذا الغرض فى نقل الفحم الى الأسواق العالمية عبرالمحيطات والبحار .

وهناك طريقة اخرى مستحدثة تجد قبولا شديدا عند المهتمين باستخراج الفحم وتسويقه ، وهى تتضمن **نقل الفحم من مكان لآخر بواسطة خطوط انابيب خاصة** ، تشبها بكل من الغاز الطبيعى وزيت البترول ، وهم يرون أن هذه الطريقة ستدفع باقتصاديات الفحم الى الأمام ، وكلنا نعرف مدى ماقدمته فكرة النقل بالأنابيب من تقدم لانتاج واقتصاديات الغاز الطبيعى وزيت البترول .

وفى حقيقة الأمر فان فكرة نقل الفحم بواسطة الانابيب قد جالت بخاطر بعض منتجى الفحم منذ زمن بعيد ، وقد كان أول من فكر فى تطبيق هذه الطريقة رجل أمريكى يدعى « ولاس اندروز » "Wallace W. Andrews" وقدم لذلك نموذجا صغيرا لهذا المشروع فى معرض شيكاغو عام ١٨٩٣ ، ولكن هذا المشروع لم يلق قبولا فى هذا الوقت ، واحتاج الأمر الى الانتظار حتى عام ١٩١٤ لتحقيق هذه الفكرة عمليا .

وقد طبقت هذه الفكرة عمليا فى انجلترا لنقل الفحم على هيئة خليط من الماء والفحم ، من شاطىء نهر التيمس الى محطة كهرباء تقع على بعد نحو ٤٥٠ مترا ، وقد استمر العمل بهذا الخط عدة سنوات .

وفى عام ١٩٢١ تمت دراسة ثلاثة مشروعات مماثلة فى الولايات المتحدة ، لنقل ٧ ملايين طن من فحم الانثراسيت فى العام لمسافة ٣٥٠ كيلومترا ، ولم يخرج هذا المشروع الى حيز التنفيذ بسبب ضغط شركات السكك الحديدية على المسئولين ، فقد كانت هذه الشركات معرضة لفقد جزء من دخلها الناتج من احتكارها لنقل الفحم لو نفذ هذا المشروع .

وفى عام ١٩٥٧ استطاعت بعض شركات الفحم ان تقنع سلطات ولاية اوهايو فى الولايات المتحدة ببناء خط انابيب لنقل الفحم لمسافة نحو ٢٠٠ كيلومتر ، واطلق عليه اسم « خط اوهايو »"Ohio pipe-line" .

وفى نفس هذه الفترة تقريبا آنشىء خط مماثل لنقل الفحم فى الاتحاد

السوفيتى ، وعرفت مثل هذه الخطوط التى تنقل الفحم باسم « كربودك » "Carboduc" .

وقد توقف خط الانابيب فى أوهايو عام ١٩٦٣ وان كان قد استخدم فى نقل ٧ ملايين طن من الفحم .

وقد أعيد انشاء خط أنابيب مماثل فى أريزونا بالولايات المتحدة عام ١٩٧٠ تحت اسم « خط انابيب ميسا الأسود » "Black Mesa Pipeline" ويبلغ طوله نحو ٤٤٥ كيلومترا ، كذلك بنى خط مماثل فى فرنسا عام ١٩٥٠ عرف باسم خط اللورين ، وقد ساهم هذا الخط فى نقل نحو ٣,٧ مليون طن من الفحم فى العام لمسافة نحو ٤٥ كيلومترا .

ويدفع الفحم فى هذه الانابيب بعدة طرق ، فيمكن دفع مسحوق الفحم بضغط الهواء ، ولكن هذه الطريقة تحتاج إلى ضغط هائل لتحريك الفحم ، كما أنها قد تؤدى إلى حدوث انفجار .

ويمكن كذلك دفع كتل الفحم متوسطة الحجم فى الانابيب بعد خلطها بالماء أو بأى سائل آخر مثل الميثانول .

وتعتمد التكنولوجيا الحديثة لنقل الفحم على هذه الطريقة الاخيرة فيدفع الفحم على هيئة معلق فى الماء فى هذه الانابيب ، ويتحرك هذا الخليط بسهولة نسبية ويمكن دفعه بالمضخات على مسافات متباعدة .

ولا تخلو هذه الطريقة من بعض المشاكل ، فهناك احتمال انفصال هذا المعلق وترسيب الفحم فى بعض مناطق من الخط ، خاصة عند حدوث أعطال أو توقف عملية الضخ .

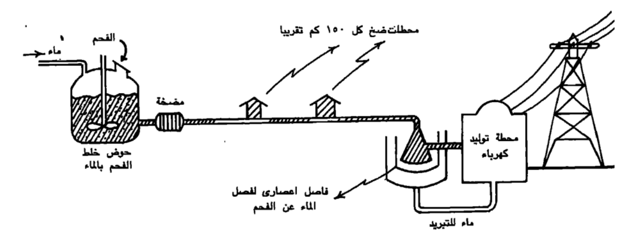
وقد حدث مثل هذا الترسيب فى خط أوهايو فى اليوم الأول لتشغيله ، وقد استطاع القائمون على هذا الخط التغلب على هذه المشكلة بضخ تيار من الماء فى الخط على فترات منتظمة فى أعقاب كل دفعة من معلق الفحم فى الماء .

وهناك مشكلة أخرى يجب أخذها فى الاعتبار ، وهى تنشأ عن التحات الممكن حدوثه للسطح الداخلى للانابيب نتيجة لاحتكاك فتات الفحم وما به من شوائب معدنية مع جدران هذه الأنابيب أثناء اندفاعها مع تيار الماء .

كذلك يجب ان تأخذ فى الاعتبار مشكلة التآكل الممكن حدوثه فى خط الانابيب ، وهو ينتج من ذوبان بعض الشوائب الحمضية فى الماء لتعطى محلولا حمضيا يؤثر على الصلب المصنوعة منه هذه الانابيب .

ومن الممكن التغلب على هذه المشاكل بالتحكم فى سرعة تيار الماء واندفاعه داخل الأنابيب ، وكذلك ببناء أنابيب ذات تركيب داخلى مدروس ، وباضافة بعض مانعات التآكل إلى تيار الماء .

ونقل الفحم بالانابيب رخيص التكاليف ، وهو يقل كثيرا عن تكلفة النقل بالسكك الحديدية ، فدفع معلق الفحم فى الماء فى الانابيب بسرعة ١,٣٥ متر فى الثانية يحتاج الى طاقة صغيرة تبلغ نحو ٪ الطاقة اللازمة لنقله بالسكك الحديدية ، ولكن ذلك ينطبق فقط على نقل الفحم لمسافات طويلة وبكميات كبيرة ، اما عندما يكون المطلوب نقله من الفحم لايزيد على ٥ ملايين طن فى العام ، وتكون مسافة نقلة نحو ٢٠٠ كيلومتر ، فان تكاليف نقله بالأنابيب تتساوى مع تكاليف نقله بالسكك الحديدية .



شكل ١ ـ ١ نقل الفحم بالأنابيب

وعادة ماتلحق بخط الانابيب محطات ضخ مساعدة كل ١٥٠ كيلومترا على وجه التقريب ، وذلك لمنع ترسيب الفحم فى الانابيب . ويمكن فصل الفحم عن الماء بفاصل اعصارى واستعمال الفحم فى ادارة محطة للكهرباء مثلا واستعمال الماء فى تبريد التربينات أو غيرها من الآلات .

وأحدى المشاكل الرئيسية فى عملية نقل الفحم بالانابيب هى كيفية الحصول على ذلك القدر الكبير من الماء اللازم لدفع الفحم فى الخطوط ، خاصة وأن أغلب مناجم الفحم تقع فى أماكن منعزلة وقد لا يتوفر بها مثل هذا القدر الكبير من الماء .

وربما كانت أهم العقبات التى تعترض عمليات نقل الفحم بواسطة الأنابيب ، هى تلك المعارضة القوية التى تبديها شركات السكك الحديدية ، فهذه

الخطوط تمثل منافسة شديدة لهذه الشركات ، خاصة وأن أغلب الفحم ينقل فى العالم بواسطة السكك الحديدية ، ومن أمثلة ذلك أن نحو ٦٦٪ من الفحم المستخرج كل عام فى الولايات المتحدة ، ينقل بواسطة السكك الحديدية ، ويمثل هذا الفحم نحو ٣٠٪ من مجموع البضائع التى تنقلها السكك الحديدية كل عام . ولاشك أن ضياع مثل هذا الحجم من البضائع من شركات السكك الحديدية يمثل خسارة فادحة قد لا تتحملها بعض هذه الشركات .

استخدامات الفحم

يستعمل الفحم كمصدر للطاقة فى كثير من الصناعات ، وفى محطات القوى التى تولد الكهرباء .

ولا يحتاج تخزين الفحم الى أماكن خاصة ، فهو يخزن عادة فى الهواء الطلق فى أماكن مكشوفة ، كما يحدث فى بعض المصانع التى يحتاج العمل فيها الى تجميع قدر كبير منه ، مثل محطات القوى أو مصانع الحديد والصلب ، أو مصانع الكوك ، وذلك لأن أنواع الفحم الجيدة مثل الفحم البتيومينى ، أو فحم الانثراسيت ، لا تتأثر كثيرا بالعوامل الجوية المتغيرة ، وتقاوم فعل الرطوبة والهواء .

أما أنواع الفحم الأخرى مثل الفحم تحت البتيومينى ، أو فحم اللجنيت ، وهى أنواع أقل تفحما ، فيفضل تخزينها فى صوامع أو مخازن خاصة ، لأنها تتحلل سريعا عند تركها معرضة للجو لمدة طويلة .

وتبلغ القيمة الحرارية للفحم نحو ٢٨ مليون جول لكل كيلوجرام منه ، ولكن هذه القيمة تختلف من نوع لآخر من أنواع الفحم التى سبق ذكرها .

ولاتستخدم كتل الفحم فقط كمصدر للحرارة والطاقة ، ولكن يمكن استخدام فتات الفحم والفحم المجروش فى هذا الغرض ، وقد يستعاض بها عن بعض أنواع الوقود السائل مثل المازوت ، وذلك بدفعها بتيار من الهواء فى مجارى بعض الأفران .

ومن الممكن استخدام تراب الفحم بنفس هذا الاسلوب السابق ، كما يمكن ضغط هذا التراب مع قليل من البتيومين أو القار لتحويله الى أقراص أو قوالب متماسكة ، يمكن استخدامها بدلا من كتل الفحم متوسطة الحجم .

ويلقى الفحم كثيرا من المنافسة من بعض مصادر الطاقة الاخرى ، خاصة

من زيت البترول والغاز الطبيعى ، وهو يلقى مثل هذه المنافسة حديثا من بعض مصادر الطاقة الاخرى ، مثل الطاقة النووية وطاقة الشمس .

وقد أثرت هذه المنافسة كثيرا على صناعة الفحم ، ولذلك فقد قوبلت مثل هذه المنافسة من القائمين على صناعة الفحم بكثير من المقاومة ، فنشطت البحوث والدراسات التى تهدف الى تحسين وتطوير طرق استخدام الفحم فى عمليات التدفئة والتسخين ، وكذلك فى ادارة الآلات .

وقد قدمت بعض الأفكار الجديدة فى مثل هذه المجالات ، ولكن أغلب تلك الأفكار والمحاولات لم تلق النجاح المطلوب .

وحتى قاطرات السكك الحديدية ، وهى التى كانت تعتبر من أكبر مستهلكى الفحم ، استغنت عن الفحم ، وتوقفت عن استخدامه فى قاطراتها ، وابتكرت قاطرات حديثة تعمل بزيت البترول ، ولم تنجح المحاولات التى بذلت لابتكار تربينات غازية تستخدم الفحم المسحوق ، فى إقناع رجال السكك الحديدية باستخدامها .

ومع كل ذلك ، فمازال الفحم من أهم مصادر الطاقة المستخدمة فى محطات توليد الكهرباء .

وهناك بعض محطات القوى التى تستعمل المازوت فى إدارة آلاتها ، ولكن اغلب مثل هذه المحطات ، على مستوى العالم ، مازالت تستخدم الفحم لتوليد الكهرباء ، وقد ساعد ذلك كثيرا على تحسين وضع الفحم بين مصادر الطاقة الاخرى .

ويرى البعض أن حل مشكلة الفحم قد يكون فى تحويله إلى وقود غازى أو وقود سائل بطريقة أو بأخرى ، حتى يستطيع أن يصمد لمنافسة الغاز الطبيعى وزيت البترول .

وقد بدأت بعض البحوث والدراسات التى تتخذ هذا الاتجاه منذ عام ١٩٦٠ فى كل من أوروبا وأمريكا ، وقد توصلت بعض هذه البحوث إلى نتائج جيدة ، ومن المنتظر أن تكلل هذه الدراسات بالنجاح فى السنوات القليلة القادمة وتؤدى إلى تحويل الفحم إلى وقود غازى بطريقة إقتصادية .

فحم الكوك

يحضر فحم الكوك بتسخين الفحم الحجرى ، أو الفحم البتيومينى لدرجة حرارة عالية بمعزل عن الهواء .

وقد كانت هذه العملية تجرى قديما فى مجموعة من الأفران سميت بخلايا النحل ، لمشابهتها لهذه الخلايا ، وكانت الأبخرة والغازات الناتجة من تسخين الفحم لاتعرف لها فائدة ، ولذلك كانت تترك لتتصاعد فى الهواء باعتبارها غازات عادمة لاقيمة لها .

وقد تبين فيما بعد أن هذه الغازات والأبخرة ذات قيمة اقتصادية كبيرة ، وأنه يمكن استخدامها فى كثير من الأغراض ، ولذلك طورت عملية تسخين الفحم فى غياب الهواء ، لتصبح أكثر كفاءة ، وبحيث يمكن جمع هذه الأبخرة والغازات وتكثيفها لاستخدامها فيما بعد فى إنتاج كثير من المواد الكيميائية المطلوبة للصناعة .

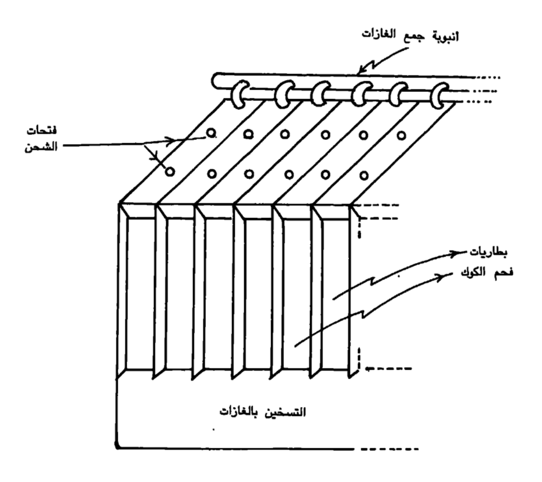
وتعرف عملية تسخين الفحم لدرجة حرارة عالية بمعزل عن الهواء باسم « **عملية التقطير الاتلافى** » ، ولا يتأكسد الفحم فى هذه الطريقة لانعزاله عن الهواء وما به من اكسجين ، ولكن تبدأ المواد المتطايرة الموجودة بالفحم فى التصاعد على هيئة أبخرة وغازات ، وعندما ينتهى تصاعد هذه الأبخرة ، لايتبقى من الفحم إلا ما به من كربون ثابت وبعض الشوائب المعدنية التى كانت موجودة أصلا فيه. وهذا المتبقى الذى تقل فيه نسبة المواد المتطايرة يعرف باسم فحم الكوك .

وتتلخص الطريقة المستخدمة حاليا لتحضير فحم الكوك ، فى تسخين الفحم الحجرى فى مجموعة متلاصقة من الأفران تعرف باسم « **البطاريات** » ، وقد يصل عدد هذه الأفران المتلاصقة إلى نحو ٩٠ فرنا فى بعض الأحيان .

وتشحن الأفران فى هذه البطاريات من فتحات خاصة فى قمتها ، ثم تقفل هذه الأفران بإحكام ، وتسخن جدرانها بالغازات الساخنة الناتجة من حرق الوقود حتى تصل درجة الحرارة إلى نحو ١٠٠٠°م .

ويتم جمع الغازات والأبخرة الناتجة من هذه العملية عن طريق أنابيب خاصة فى قمة هذه الأفران ، ثم تكثف وتجمع لاستعمالها فيما بعد .

وعند انتهاء عملية التسخين ، أى عندما ينقطع تصاعد المواد المتطايرة من الفحم ، تفتح هذه الأفران ، ويدفع فحم الكوك الساخن المتبقى إلى عربات خاصة تشبه عربات السكة الحديد ، وتحمل هذه العربات الفحم المتوهج الى برج خاص يعرف باسم برج التبريد ، وهناك يرش هذا الفحم الساخن بالماء لتبريده فى الحال حتى لايتأكسد فى الهواء .



شكل ١ ـ ٢ بطاريات فحم الكوك

ولفحم الكوك استعمالاته الخاصة ، فهو يستخدم فى عمليات استخلاص بعض الفلزات من خاماتها ، كما فى صناعة الحديد والصلب ، ومن المعروف أن إنتاج طن من الصلب يحتاج إلى استعمال طن من فحم الكوك على وجه التقريب . كذلك قد يستخدم فحم الكوك فى بعض الصناعات الأخرى مثل صناعة كربيد الكالسيوم .

تحويل الفحم إلى صور أخرى

تحويل الفحم إلى وقود غازى :

تعتبر طرق تحويل الفحم إلى وقود غازى متعدد الأغراض من أهم طرق تحويل الفحم الى صور أخرى يسهل استعمالها كمصدر للطاقة ، فيمكن نقل هذه الغازات من مكان لاخر عن طريق خطوط الانابيب عبر مسافات طويلة بطريقة اقتصادية ، واستخدامها فى كثير من الأغراض .

وعادة ما يستعمل لهذا الغرض بعض أنواع الفحم غير الجيدة ، مثل تلك الأنواع التى لا تصلح لصنع فحم الكوك ، أو بعض أنواع الفحم الأخرى التى تحتوى على قدر كبير من الشوائب المعدنية ، والتى تترك وراءها عند حرقها ، نسبة عالية من الرماد تفسد الأفران .

الغاز المنتج : " Producer Gas "

يتكون الغاز المنتج عند إمرار تيار من الهواء المحمل بقدر صغير من بخار الماء فوق الفحم المسخن لدرجة حرارة عالية .

ويحتوى الغاز المنتج على نحو ٥٠٪ من وزنه من غاز النتروجين ، كما يحتوى على كل من غازى الهيدروجين وأول أكسيد الكربون .

ونظرا لاحتواء الغاز المنتج على قدر كبير من غاز النتروجين ، وهو الغاز الموجود أصلا بالهواء ، فان القيمة الحرارية للغاز المنتج تكون منخفضة نسبيا لأن غاز النتروجين لا يقبل الاشتعال .

ويستعمل الغاز المنتج فى بعض العمليات الصناعية ، خاصة فى تسخين بطاريات فحم الكوك .

غاز الماء : " Water Gas "

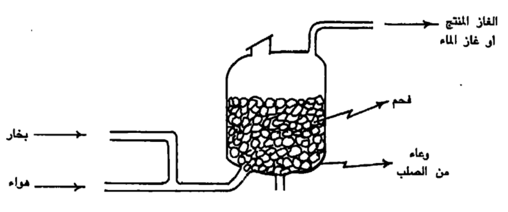
يعرف هذا الغاز أحيانا باسم « الغاز الأزرق » " Blue Gas " لانه يشتعل بلهب أزرق .

ويتكون غاز الماء عند إمرار تيار من بخار الماء فوق الساخن ، أى البخار المسخن لدرجة تزيد على ١٥٠°م ، فى خلال الفحم الساخن لدرجة حرارة عالية تزيد على ١٢٠٠°م .

وتتم هذه العملية بنظام معين ، فيمرر أولا تيار من الهواء فى الفحم الساخن حتى تصل درجة حرارته الى الحد المطلوب ، ثم يمرر بعد ذلك تيار من بخار الماء فى خلال هذا الفحم .

ونظرا لأن التفاعل بين الفحم وبين بخار الماء تفاعل ماص للحرارة ، فان إمرار البخار على الفحم يؤدى إلى خفض درجة حرارة الفحم بسرعة ، ولذلك يعاد إمرار تيار من الهواء فى طبقات الفحم حتى ترتفع درجة حرارته إلى الحد المطلوب .

وتتكرر هذه العملية باستمرار ، فيمرر تيار من الهواء ، ثم تيار من البخار فى طبقات الفحم الساخن بالتبادل كل ٤ ـ ٦ دقائق .



شكل ١ ـ ٣ تحويل الفحم الى الغاز المنتج او غاز الماء

ويتكون غاز الماء من خليط من غازى الهدروجين وأول أكسيد الكربون وكليهما يقبل الاشتعال ، ولذلك فان القيمة الحرارية لغاز الماء تزيد على القيمة الحرارية للغاز المنتج بحوالى الضعف . ويحتوى غاز الماء على نسبة صغيرة من غاز ثانى أكسيد الكربون .

$$C + H_2O \rightarrow CO + H_2$$

كربون (فحم)   بخار ماء   أول أكسيد الكربون   هدروجين

غاز الماء

وبالرغم من ارتفاع القيمة الحرارية لغاز الماء ، فانها لاتكفى للاستعمال فى كل الأغراض ، ولذلك يتم إثراء هذا الغاز فى بعض الأحيان باضافة بعض ابخرة

المقطرات الخفيفة للبترول ، أو قليل من الغاز الطبيعى اليه ، لرفع قيمته الحرارية ، ويعرف هذا الخليط باسم « غاز الماء الهدروكربونى » ، "Carbu-rated Water Gas" ، وهو يستعمل فى بعض المدن الاوربية فى عمليات التدفئة والتسخين فى المنازل .

تغويز الفحم فى باطن الأرض "Under ground Gasification"

تتلخص هذه الطريقة فى تحويل الفحم الى غاز وهو فى باطن الأرض دون الحاجة الى استخراجه بطرق التعدين المعروفة .

وتوفر هذه الطريقة كثيرا من التكاليف ، فهى تتخلص تماما من تكاليف استخراج الفحم من باطن الارض ، كما أنها توفر تكاليف نقله الى مراكز التصنيع المختلفة .

وأول من فكر فى تحويل الفحم الى غاز بهذا الاسلوب كان « سير وليم سيمنز » "Sir William Siemens" عام ١٨٦٨ ، ولكن لم يتم تجربة هذه الطريقة عمليا الا فى عام ١٩١٢ .

وتتضمن هذه الطريقة حفر آبار مائلة تصل بين سطح الأرض وبين رواسب الفحم ، ثم يشعل الفحم ويدفع الهواء فى أنابيب الى هذه الرواسب ، ويعود مرة اخرى الى سطح الأرض عن طريق أنابيب اخرى ، حاملا معه غازات الفحم التى تدفع بعد ذلك لاستخدامها فى ادارة الآلات .

وقد كانت هذه الفكرة محل بحث فى الاتحاد السوفيتى منذ عام ١٩٤٠ ، وتوجد حاليا آبار من هذا النوع تعمل بنجاح فى الاتحاد السوفيتى أحدها فى اوزبكستان ، ويستخدم فيها الغاز الناتج فى ادارة محطة للكهرباء .

وقد دفع الحظر الذى فرض على البترول عام ١٩٧٣ ، الولايات المتحدة الى إقامة مشروع لتغويز الفحم تحت الأرض فى ولاية وايومنج ، حيث توجد طبقة من الفحم تحت البتيومينى على عمق كبير مما يجعل استخراجه على درجة من الصعوبة .

وقد تم بذلك الاستفادة بنحو ٤٢٠٠ طن من هذا الفحم فى خلال ثلاثة أشهر فى عام ١٩٧٥ ، وتم تحويلها الى غاز قيمته الحرارية نحو ١٥٦٠ كيلو كالورى للمتر المكعب .

وتفيد هذه الطريقة كثيرا فى استغلال رواسب الفحم التى قد توجد على عمق

كبير ، أو توجد هذه الرواسب تحت صخور صلبه ، أو يكون حجمها غير اقتصادى أو من النوع متوسط الجودة ، فتكون تكاليف استخراجها من باطن الأرض أكثر بكثير من قيمتها الاقتصادية .

كذلك تعتبر هذه الطريقة من أفضل الطرق لاستغلال رواسب الفحم التى قد تقع تحت بعض المناطق السكنية أو المزدحمة بالسكان ولا يمكن الحفر فيها ، أو تقع تحت مياه البحر ، كما فى المنطقة الواقعة تحت بحر الشمال بين انجلترا وفرنسا .

وهناك بعض الصعوبات التى يجب التغلب عليها قبل استخدام هذه الطريقة على نطاق واسع وبكفاءة عالية .

ومن أمثلة هذه الصعوبات انه تبين أن القيمة الحرارية للغازات الناتجة فى هذه العملية تكون مرتفعة فى أول الأمر ، ولكنها تنخفض تدريجيا بمرور الزمن .

كذلك يتطلب الأمر ضرورة الحفر بدقة كبيرة للوصول الى رواسب الفحم ، مع الاهتمام بمنع تسرب الغازات من موقع الحفر أو من خطوط الأنابيب ، وضرورة اختيار رواسب الفحم المتصلة والتى لاتتخللها فواصل نتيجة لحدوث صدوع حتى يمكن نجاح عملية التغويز .

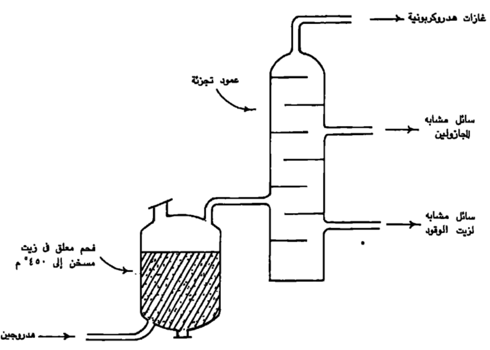
تحويل الفحم الى وقود سائل

قدم العالم الالمانى برجيوس عام ١٩٣٠ ، فكرة تحويل الفحم الى زيت بتسخينه مع غاز الهدروجين تحت ضغط مناسب .

وقد نشأت هذه الفكرة عند هذا العالم عندما لاحظ أن نسبة الهدروجين الى الكربون فى الفحم تصل الى نحو ١ : ١٦ ، على حين ترتفع هذه النسبة فى زيت البترول الى الضعف تقريبا ، فتصل الى نحو ١ : ٨ .

وقد تصور برجيوس أنه إذا عومل الفحم بالهدروجين فى ظروف مناسبة ، فانه يمكن أن يتحول الى مايشبه زيت البترول ، ونجح فى اجراء هذا التحول فى المعمل .

وتعرف هذه الطريقة حاليا باسم « **طريقة برجيوس للهدرجة** » "Bergius Hydrogenation Process" ، وهى تتضمن خلط مسحوق الفحم ببعض الزيوت الثقيلة ، ثم يضاف الى هذا الخليط حافز مثل أحد أملاح القصدير ، ويمرر فيه تيار من غاز الهدروجين تحت ضغط معلوم وعند درجة حرارة نحو ٤٥٠° م .



شكل ١ ـ ٤ طريقة برجيوس لتحويل الفحم الى سائل يشبه البترول

وينتج من هذه العملية سائل ثقيل يتم تجزئته الى عدة مقطرات بعضها يشبه الجازولين ويشبه بعضها الآخر زيت الوقود .

وينتج من هذه الطريقة كذلك بعض الغازات الهدروكربونية ، وبعض المواد العضوية الاخرى مثل البنزين والانيلين والنفثالين ، وهى تعتبر مواد أولية ، وتدخل فى تحضير كثير من الأدوية والأصباغ وما الى ذلك .

وهناك طريقة اخرى استخدمت فى تحويل الفحم الى وقود سائل وهى تعرف باسم « **طريقة فيشر ـ ترويش** » "Fischer - Tropsch Process" ، وقد استحدثت هذه الطريقة عندما أعلنت شركة « باسف » الالمانية "BASF" انها توصلت الى طريقة جديدة يتم فيها تحويل خليط من غازى اول اكسيد الكربون والهدروجين الى بعض السوائل الهدروكربونية وبعض مشتقاتها الاكسجينية .

وقد قام العالم الالمانى « فرانز فيشر » ، وزميله « هانز ترويش » عام ١٩١٤ بدراسة هذه الطريقة دراسة مستفيضة ، وتمكنا معا من ابتكار طريقة لتحويل الفحم الى وقود سائل اطلق عليه اسم « **سنتول** » "Synthol" ، وهى اختصار يدل على كلمتى الزيت المخلق ، وهو يتكون من خليط من عدة هدروكربونات وبعض الكحولات والكيتونات وما اليها .

وتتلخص طريقة فيشر ـ تروبش فى امرار خليط من البخار فوق الساخن وغاز الاكسجين فوق مسحوق الفحم الساخن ، فيتحول الفحم الى غاز الماء كما رأينا من قبل ، وهو يتكون من خليط من غازى الهدروجين وأول اكسيد الكربون ، ثم يمرر هذا الخليط الغازى بعد ذلك فوق عامل مساعد فيتحول الى سائل يشبه زيت البترول .

وقد أقيمت تسعة مصانع فى المانيا فى أثناء الحرب العالمية الثانية (١٩٣٩ ـ ١٩٤٥) لانتاج السنتول ، واستطاعت هذه المصانع ان تعوض نقص البترول فى المانيا فانتجت نحو نصف مليون طن من الزيت المخلق .

وقد تمكن الألمان بهذه الطريقة من انتاج ٢٠٠,٠٠٠ طن من وقود السيارات و ١٠٠,٠٠٠ طن من زيت الديزل ، و ٢٠,٠٠٠ طن من زيوت التشحيم ، و ٢٠٠٠ طن من الكحولات ، و ٥٠,٠٠٠ طن من المنظفات الصناعية ، ونحو ٤٠,٠٠٠ طن من الأحماض الدهنية ، ٣٠,٠٠٠ طن من الشموع .

وقد تبين أن نواتج هذه الطريقة تختلف اختلافا بينا باختلاف الحافز المستعمل وأمكن بذلك تحضير عدد من المركبات العضوية متنوعة التركيب .

وربما كانت احدى النتائج الهامة لطريقة فيشر ـ تروبش هى امكانية تحويل الفحم الى نوع من الدهون التى تصلح للاستعمال فى الغذاء .

وقد استطاع الألمان أثناء الحرب أكسدة أنواع من الشموع الناتجة فى العملية السابقة ، الى احماض دهنية ، ثم قاموا بتحويل هذه الاحماض الى دهون باتحادها مع الجليسرين ، وصنعوا منها أصنافا من الدهن الصناعى مثل المرجرين الذى استعمل فى الطهو وفى تحضير الغذاء ، كما استعملوا جزءا من هذه الدهون فى تحضير الصابون .

الفحم مصدرا للكيماويات

يعتبر الفحم أحد المصادر الهامة لانتاج كثير من المواد الكيميائية الهامة التى نعرفها فى حياتنا اليوم .

ولا تستخرج هذه المواد العضوية من الفحم مباشرة ، ولكنها تنتج من الأبخرة والغازات التى تتصاعد فى أثناء تسخين الفحم بمعزل عن الهواء عند صناعة فحم الكوك .

ويتم فصل الأبخرة المتصاعدة فى عملية التقطير الاتلافى للفحم التى سبق

ذكرها ، الى عدة مكونات ، أهمها الغازات التى تعرف باسم **غاز الفحم** ، والسائل المائى المحتوى على النشادر ، ويعرف باسم **السائل النشادرى** ، ثم السائل الأسود الكثيف المعروف **بقطران الفحم** .

وغاز الفحم عبارة عن خليط من عدة غازات أهمها الميثان والهدروجين وبعض المركبات الاوليفينية الغازية ، بالاضافة الى قدر من غاز النتروجين وثانى اكسيد الكربون .

ويتصاعد قدر كبير من هذا الغاز أثناء التقطير الاتلافى للفحم ، فيعطىّ طن الفحم الحجرى الجاف مايزيد على ٣٠٠ متر مكعب من هذا الخليط .

ويستعمل غاز الفحم وقودا فى بعض الأحيان ، فقيمته الحرارية لا بأس بها ، وقد يستخدم كذلك، فى تحضير بعض المواد الهامة فى الصناعة .

أما السائل النشادرى فهو عبارة عن محلول للنشادر فى الماء ، وهو يفصل عن قطران الفحم ، ثم يعادل مابه من نشادر بواسطة حمض الكبريتيك لتكوين مركب كبريتات النشادر التى تستعمل فى اخصاب التربة الزراعية وزيادة محتواها من النتروجين .

أما السائل الأسود الكثيف الذى يعرف باسم قطران الفحم ، فهو يعتبر من أهم نواتج عملية التقطير الاتلافى للفحم ، وهو يمثل نحو ٣ ـ ٥,٥٪ من وزن الفحم الاصلى ، وهو يتصف برائحته المميزة ، ويحتوى على عديد من المواد العضوية الهامة .

ويتم تقطير هذا القطران فى أوان من الحديد ، ويفصل الى عدة أجزاء رئيسية تعرف بأسماء خاصة مثل **الزيت الخفيف** ، **والزيت المتوسط** ، **والزيت الثقيل** ، **والزيت الأخضر** .

ويجمع الزيت الخفيف بين درجتى الحرارة ٧٠ ـ ١٧٠°م ، وهو يحتوى على خليط من **البنزين والطولوين والزايلين** .

أما الزيت المتوسط ، فيجمع بين درجتى حرارة ١٧٠ ـ ٢٣٠°م ، وهو يتكون أساسا من **مادة الفينول** ، وهى المادة التى تدخل فى تكوين السائل المطهر المعروف باسم « **الفنيك** » ، ولذلك يسمى هذا الزيت فى بعض الاحيان **بزيت الكربوليك** .

ويجمع الزيت الثقيل بين درجتى حرارة ٢٣٠ ـ ٢٧٠°م ، وهو يحتوى على قدر كبير من **النفثالين** بالاضافة الى بعض الفينولات الأخرى .

ويحتوى الزيت الاخضر على مادة **الانثراسين** ، ولذلك فهو يسمى ايضا **بزيت الانثراسين** ، ولكنه يحتوى كذلك على قدر صغير من بعض المواد العضوية الاخرى مثل الفنانثرين والكربازول وغيرهما .

ويتبقى من عملية التقطير الاتلافى للفحم مادة سوداء شبه جامدة تعرف **بالقار** ، وهى تستخدم فى أعمال الرصف وأعمال العزل ، كما أنها قد تخلط بفتات الفحم وتضغط على هيئة قوالب صغيرة لاستعمالها وقودا فى الأفران .

والمواد الناتجة من تقطير قطران الفحم ذات فائدة كبيرة ، فهى تستخدم فى تصنيع كثير من المركبات العضوية الهامة التى نستخدمها كل يوم ، فيستعمل النفثالين مثلا فى تحضير مركب انهدريد الفثاليك الذى يستخدم كمادة أولية فى تصنيع كثير من الأصباغ وبعض أنواع الراتنجات الصناعية .

كذلك يستعمل الطولوين فى انتاج المادة شديدة الانفجار التى نعرفها باسم ت . ن . ت (TNT) ، كما يستعمل فى تحضير مادة السكارين التى يستخدمها بعض مرضى السكر فى تحلية الطعام والمشروبات ، وفى تحضير بعض المواد المطهرة مثل كلورامين ـ ت .

كذلك يستعمل الانثراسين فى صنع بعض أنواع الأصباغ ، ويستعمل الفينول فى تحضير حمض البكريك وغيره من المركبات .

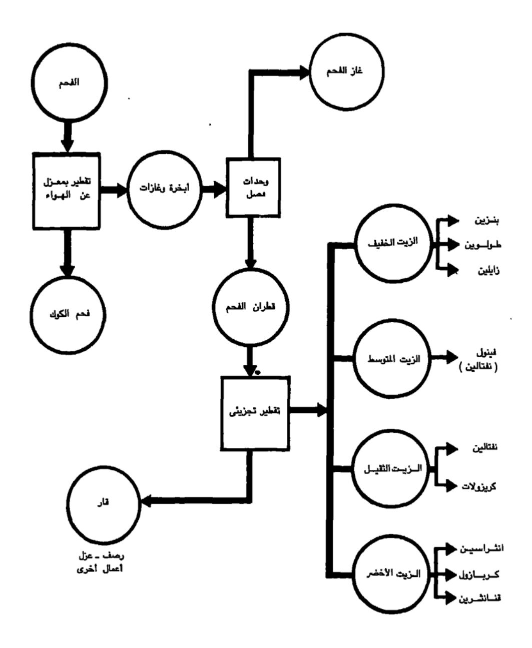
وبصفة عامة فان المواد الناتجة من قطران الفحم تعتبر اليوم مواد أساسية فى كثير من الصناعات الكيميائية ، فيتم تحويلها الى عشرات ومئات من المواد الأخرى النافعة مثل العطور والأدوية والأصباغ والمواد الحافظة والمبيدات الحشرية ومبيدات الأعشاب واللدائن وغيرها من المواد .

ويتضح مما سبق أنه بجانب أهمية الفحم كمصدر أساسى من مصادر الطاقة ، فهو يعتبر كذلك مصدرا هاما لكثير من المواد الكيميائية التى تعتمد عليها صناعاتنا الكيميائية اليوم .

ويعتقد بعض العلماء أن أهم مناجم الفحم الموجودة بباطن الارض قد تم اكتشافها ، وتقدر هذه الرواسب بنحو ١٠ ملايين طن ، ويقع أغلبها فى النصف الشمالى من الكرة الارضية ، ويقع نصفها على وجه التقريب فى آسيا .

ولا يعرف أحد الى متى سيستمر استعمال الفحم فى انتاج الطاقة على المستوى الدولى ، ولاشك ان ذلك سيعتمد بالدرجة الاولى على السرعة التى ستستغل بها كميات الفحم الموجودة بباطن الأرض ، ويعتمد كذلك على اكتشاف بعض المصادر الجديدة للطاقة التى يمكن استغلالها اقتصاديا .

نواتج التقطير الاتلاف للفحم



شكل ١ ـ ٥ نواتج التقطير الاتلاف للفحم

البتـــــــرول

يعتبر زيت البترول من أهم مصادر الطاقة فى هذا العصر ، بل هو يعتبر بحق من مقومات حضارتنا الحديثة ، ولهذا يطلق عليه احيانا اسم « الذهب الاسود » تشبيها له بالذهب فى قيمته وأهميته .

وتستخدم المجتمعات الحديثة البترول فى كل شأن من شئونها ، فهى تستخدمه وقودا فى صناعاتها المختلفة ، وتستخدم مقطراته فى تسيير وسائل النقل الحديثة ، مثل السيارات والسفن والطائرات ، كما تستعمله مصدرا للطاقة فى قطاع الزراعة وفى عمليات التدفئة وفى توليد الكهرباء .

كذلك تصنع منه ومن بعض منتجاته الثانوية ، عشرات من المواد الكيميائية الهامة التى تستخدم بدورها فى صناعة الراتنجات الصناعية واللدائن والأصباغ والأدوية ، وفى غيرها من الأغراض .

وقد عرف الانسان زيت البترول منذ قديم الزمان ، فقد وجده الانسان منتشرا على سطح الارض فى بعض البقاع على هيئة برك صغيرة ممتلئة بسائل أسود كثيف ، كما وجده فى بعض الاحيان على هيئة طبقة رقيقة عائمة على سطح الماء فى بعض البحيرات أو على ماء البحر أمام بعض الشواطىء .

وقد عرف الفرس زيت البترول منذ زمن بعيد يرجع الى نحو ٦٠٠٠ عام مضت ، واستخدموه فى بعض الأغراض ، فاستعملوا الزيت الثقيل وما ينتج عنه من أسفلت فى تثبيت أحجار المبانى والمعابد وأسوار المدن .

وقد وصف المؤرخ الاغريقى هيرودوت ، الذى عاش فى القرن الخامس قبل الميلاد ، هذا الزيت الذى استعمله أهل فارس ، بأنه كان أسود اللون كريه الرائحة ، وأنهم كانوا يحصلون عليه مختلطا بالماء من بعض الآبار العميقة .

ويبدو أن منطقة الشرق الأوسط ، ونحن نعرف اليوم أنها منطقة غنية بالبترول ، كان بأرضها بعض الشقوق التى خرج منها هذا الزيت الأسود بصورة طبيعية ، وربما كان هذا الزيت المتصاعد من هذه الشقوق ، وما يصاحبه عادة من

غاز ، هما الأصل فى نار المجوس الخالدة ، والتى يقال عنها أنها لم تطفأ أبدا ، ويبدو أن بخار هذا الزيت ، أو الغاز المتصاعد معه ، قد اشتعل بمحض الصدفة وامسكت به النيران ، فاعتبره أهل فارس من المجوس نارا مقدسة ، وقاموا بعبادتها وقدموا لها القرابين .

وقد استخدم الفرس زيت البترول الذى وجدوه طبيعيا على سطح الارض ، فى كثير من الأغراض ، ويقال انهم استعملوه فى الحرب ، فكانوا يبللون رؤوس السهام بهذا الزيت ويشعلونها ، ثم يقذفون بها صفوف الاعداء .

ويحدثنا الرحالة البندقى الشهير « ماركوبولو » "Marco Polo" عندما قام برحلته المشهورة الى الصين فى نهاية القرن الثالث عشر ، ومر فى طريقه بمنطقة باكو التى تقع على بحر قزوين ، بأنه رأى فى هذه المنطقة زيتا أسود يندفع من شقوق فى باطن الأرض على هيئة نافورة .

وقد وصف ماركو بولو كميات الزيت الضخمة التى تندفع الى الهواء بأنها تكفى لشحن مائة سفينة فى كل دفعة .

كذلك وصف ماركو بولو هذا الزيت بأنه كريه الرائحة ولا يصلح للاستخدام فى تحضير الطعام ، ولكنه يشتعل بصورة جيدة ، وقال إن بعض الناس فى هذه المناطق يستعملون هذا الزيت لدهان الجلد ، كما يستعمله البعض الآخر فى علاج بعض الأمراض الجلدية التى تصيب الجمال .

وقد صارت منطقة باكو فيما بعد ، من أغنى حقول البترول فى العالم ، وهى تتبع الاتحاد السوفيتى اليوم .

وقد ذكر أوائل المستكشفين لقارة أمريكا الشمالية ، انهم وجدوا هذا الزيت الأسود هناك ، يخرج طبيعيا من شقوق فى سطح الأرض ليكون بركا ضحلة كريهة الرائحة ، كما وجد بعضهم هذا الزيت طافيا على سطح الماء على هيئة طبقة رقيقة فى بعض الخلجان .

وقد كان سكان هذه المناطق من الهنود الحمر ، يستخدمون هذا الزيت فى دهان جلودهم اعتقادا منهم بأنه يقوى عضلاتهم ، ويزيد من طاقتهم ونشاطهم .

وعندما نزل الأوربيون فى الجزء الشرقى من الولايات المتحدة ، وأقاموا بها ، بدأوا فى استعمال هذا الزيت فى مختلف الأغراض ، وكانوا يستخرجونه من الأرض بطريقة بدائية ، فكانوا يبللون بعض قطع القماش بهذا الزيت ، ثم يقومون بعصرها وجمع الزيت المتساقط منها ، كما كانوا يقومون بكشط طبقة الزيت الرقيقة التى تطفو فوق سطح الماء .

ونظرا لقلة كميات الزيت التى يمكن الحصول عليها بهذه الطريقة البدائية ، فقد كانت أسعاره مرتفعة ، وكان يستخدم فقط فى العلاج الطبى ، وكان الباعة الجائلون يبيعونه للناس تحت أسماء مختلفة ، وكان يطلق عليه احيانا اسم « **الزيت الهندى** » .

وكان من المعتقد فى ذلك الحين أن هذا الزيت الأسود يمكن أن يكون دواء شافيا لكل الامراض ، فكان يدهن به جلد المريض للعلاج من آلام الروماتيزم ، كما كان يؤخذ على هيئة جرعات عن طريق الفم لعلاج بعض انواع اخرى من الأمراض .

وقد تم اكتشاف أول بئر للبترول فى الولايات المتحدة عام ١٨٠٦ عندما كان بعض الأفراد يقومون بالحفر بحثا عن الماء فى ولاية فرجينيا .

وقد فوجىء هؤلاء الأفراد بأن الماء المستخرج من باطن الأرض يوجد مختلطا بقليل من الزيت ، وكانوا يضيقون كثيرا بهذا الزيت الأسود ، فقد كانوا لا يعرفون له فائدة ، بالاضافة الى أنه يسبب تلوث ما يستخرجونه من ماء .

ولم يكن الناس فى ذلك الزمان يعرفون الوقود السائل ، وكانوا لا يعرفون إلا بعض أنواع من الوقود الصلب مثل الفحم والخشب ، ولكن احدى التجارب التى قام بها رجل يدعى « **ابراهام جزنر** » "Abraham Gesner" عام ١٨٤٦ لفتت الانظار الى الاحتمالات الكبيرة لبعض أنواع الوقود السائل ، فقد تمكن هذا الرجل من الحصول على زيت قابل للاشتعال بتقطير الفحم ، وأطلق عليه اسم « **كيروسين** » "Kerosene" ، وهى كلمة مشتقة من اللغة الاغريقية "Keros" وتعنى **الشمع** .

وقد تكونت بعد ذلك شركة خاصة لانتاج هذا السائل من الفحم واستغلاله وقودا فى بعض العمليات الصناعية .

ونظرا لان زيت البترول سائل قابل للاشتعال ، فقد اتجهت اليه الانظار لاستعماله كوقود أسوة بسائل الكيروسين ، خاصة وأن بعض علماء جامعة ييل فى الولايات المتحدة ، قاموا بتجارب على زيت البترول اثبتت أن الطاقة الناتجة من اشتعال البترول تعادل الطاقة الناتجة من اشتعال كيروسين الفحم .

وقد أدت النتائج الهامة لهذه التجارب التى أجريت عام ١٨٥٥ ، الى زيادة الطلب على زيت البترول ، وبدأ اصحاب الآبار التى كان الزيت فيها يختلط بالماء يجدون فائدة لهذا الزيت ، وقاموا بفصل الزيت عن الماء لبيعه فى الاسواق .

وكانت الآبار التى يمتزج فيها الماء بالزيت ، يقع أغلبها حول مدينة

« تيتوس فيل » "Titusville" بولاية بنسلفانيا بالولايات المتحدة ، وقد دفع ذلك بعض الأفراد وبعض رجال الأعمال الى حفر آبار خاصة لاستخراج البترول فى هذه المنطقة ، وتم حفر أول بئر لهذا الغرض عام ١٨٥٩ وكان ذلك بمثابة مولد صناعة البترول .

وكان عمق هذه الآبار فى أول الأمر لايزيد على عشرين مترا فى أغلب الاحوال ، وبلغ انتاج الولايات المتحدة من زيت البترول عام ١٨٦٠ نحو ٢٠٠٠ برميل ، وهو رقم كان يعتبر كبيرا فى ذلك الحين ، ولكنه اليوم لا يعتبر شيئا مذكورا إذا قورن بما يستخرج فى بعض البلدان ، والذى قد يبلغ عدة ملايين من البراميل فى اليوم الواحد .

اصل البترول وتركيبه

زيت البترول سائل أسود كثيف سريع الاشتعال ، وهو يتكون من خليط من المركبات العضوية التى تتكون أساسا من عنصرى الكربون والهدروجين وتعرف باسم الهدروكربونات .

وتبلغ نسبة الهدروكربونات فى بعض أنواع البترول نحو ٥٠٪ من تركيبه الكلى ، وقد تصل فى بعض الأنواع الأخرى الى ٩٨٪ ، ويحتوى زيت البترول كذلك على بعض المواد العضوية الاخرى التى تحتوى جزيئاتها على الاكسجين والنتروجين والفوسفور والكبريت .

ولاتعرف على وجه التحديد الطريقة التى تكون بها زيت البترول فى باطن الأرض ، ولكن هناك عدة نظريات تتناول الطريقة التى نشأ بها ذلك السائل الهام .

وتتلخص احدى هذه النظريات فى أن البترول قد تكون نتيجة لتعرض بعض الرواسب من كربيدات الفلزات الموجودة بباطن الأرض الى فعل بخار الماء ، ومن المعروف ان مثل هذا التفاعل يعطى فى المعمل خليطا من الهدروكربونات .

وتفترض هذه النظرية ان مثل هذا التفاعل قد أعطى فى باطن الأرض مثل هذه الهدروكربونات التى كونت فيما بينها سائلا يشبه البترول فى صفاته وخواصه .

ويقلل من أهمية هذه النظرية عدة عوامل ، أهمها أن أحدا لم يعثر على مثل هذا الرواسب من الكربيدات ، بينما طبقا لهذه النظرية لابد وان يتوفر قدر بالغ الضخامة من هذه الكربيدات حتى تستطيع أن تنتج هذا الكم الهائل من البترول

المختزن فى باطن الأرض ، ومن المحتم لو كانت هذه النظرية صحيحة أن يتبقى جزء من هذه الرواسب دون تغيير بعيدا عن الماء .

كذلك يعرف علماء الجيولوجيا أن مثل هذه الكربيدات ، أن وجدت ، فلابد وأن تتكون فى ثنايا الصخور البركانية ، لانها تحتاج الى حرارة مرتفعة لتكوينها ، ويترتب على ذلك أن البترول الناتج من تفاعلها مع بخار الماء لابد ان تقع مكامنه فى ثنايا هذه الصخور البركانية ، وهو مايخالف الواقع تماما ، لأن البترول لايوجد فى باطن الأرض إلا فى ثنايا الصخور الرسوبية .

والنظرية السائدة الآن ، والتى تلقى قبولا لدى كافة العلماء ، هى تلك النظرية التى تفترض ان زيت البترول قد نشأ نتيجة لتحلل البقايا النباتية والحيوانية تحت ظروف قاسية من الضغط والحرارة .

وتفترض هذه النظرية أن قدرا هائلا من بقايا الكائنات الحية قد تجمع ورسب فى قيعان البحار والمحيطات ، وبمرور الزمن ازداد سمك هذه الطبقات واختلطت برمال القاع وببعض الرواسب المعدنية الاخرى .

وعندما تحركت القشرة الارضية فى العصور الجيولوجية القديمة ، تعرضت هذه الطبقات لضغوط هائلة وارتفعت حرارتها الى حدود عالية بتأثير حرارة باطن الارض ، وقد نتج عن ذلك ان تحولت الرواسب المعدنية والرمال الى طبقات من الصخور الرسوبية ، بينما تحولت البقايا العضوية المختلطة بها الى مواد هدروكربونية تكون منها زيت البترول والغاز الطبيعى .

ولا تعرف بدقة الطريقة التى تحولت بها المواد العضوية الى زيت البترول ، ولكن بعض العلماء يعتقدون أن جزءا من المواد الهدروكربونية الموجودة أصلا بخلايا الكائنات الحية قد بقى كما هو تحت هذه الظروف ، بينما تحللت بقية المركبات الاخرى الموجودة بهذه الخلايا ، وان هذا الجزء المتبقى من المواد الهدروكربونية هو الذى يكون زيت البترول .

ويعتقد علماء آخرون ان البكتريا تلعب دورا هاما فى هذا التحول ، فهى تقوم بانتزاع الاكسجين والكبريت والنتروجين من المركبات العضوية الموجودة بخلايا هذه الكائنات ، وتحولها بذلك الى مركبات هدروكربونية مشابهة للبترول .

ولاتوجد هناك مبررات لتفضيل احدى هاتين النظريتين على الأخرى ، ويبدو أن كلا منهما قد لعب دورا هاما فى تحول المواد العضوية الموجودة بخلايا الكائنات الحية الى زيت البترول .

ويعزز النظرية التى تنادى بأن البترول قد نشأ من بقايا الكائنات الحية ، ان

زيت البترول يحتوى عادة على بعض المركبات العضوية التى يدخل فى تركيبها بعض العناصر الأخرى غير الكربون ، مثل الفوسفور والكبريت والنتروجين ، وهى عناصر لاتوجد فى كربيدات الفلزات ، ولكنها توجد عادة ضمن مكونات الخلية فى الكائنات الحية .

كذلك يوجد البترول دائما فى ثنايا الصخور الرسوبية ، وهى صخور توجد دائما فى قيعان البحار ، كما أن البترول يقترن وجوده دائما بوجود الماء الملح ، وعادة ماتوجد أهم آبار البترول إما على شواطىء البحار ، وإما قريبا منها ، كما توجد بعض هذه الآبار فى داخل مياه البحار كما فى خليج السويس وفى بحر الشمال وغيرها .

وعلى الرغم من استقرار هذه النظرية الاخيرة فى أذهان كثير من علماء الجيولوجيا والنفط ، فان هناك عددا قليلا من العلماء ما زالوا يفترضون أن الهدروكربونات التى تكونت باتحاد الكربون بغاز الهدروجين قد تكونت فى الزمن السحيق أثناء الفترة التى تكونت فيها الارض ، وانها اندثرت فى باطنها ، وأن بعض هذه الهدروكربونات مازال يتسرب من باطن الأرض الى القشرة الارضية ليتجمع فى بعض الطبقات المسامية ، ويظهر على هيئة زيت البترول والغاز الطبيعى .

وتتعارض هذه النظرية تماما مع النظرية السابقة التى تفترض نشوء الهدروكربونات المكونة للنفط من أصل بيولوجى ، وذلك لانها تفترض أن مثل هذه الهدروكربونات قد نشأت من أصل غير بيولوجى ، بالاتحاد المباشر بين الكربون والهدروجين .

وينتشر العلماء الذين يعتقدون بصحة هذه النظرية فى كل من السويد والولايات المتحدة والاتحاد السوفيتى . وقد قامت شركة للطاقة تملكها الحكومة السويدية عام ١٩٨٦ بالحفر فى منطقة « سيلجان » ، وهى أراض تتكون من الصخور الجرانيتية البارزة والغابات الكثيفة .

ويتم الحفر فى هذه المنطقة فى درع جرانيتية فائقة القدم لا ينتظر أن تحتوى على أية صخور رسوبية مسامية يستطيع النفط أن يتجمع فيها ، ولكن القائمين بالحفر يعتقدون أنه منذ ٣٦٠ مليون عام على وجه التقريب ، اصطدم أحد النيازك الضخمة بارض السويد ، وتسبب فى سحق الصخور الجرانيتية المكونة لهذه المنطقة ، وحول الصخور الموجودة فى أعماق هذه المنطقة إلى فتات يشبه الحصى يصلح أن يكون مكمنا يتجمع فيه الغاز الطبيعى والنفط المتصاعدان من باطن الأرض .

ولو آن نظرية تكون الهدروكربونات من أصل غير بيولوجى صحيحة ، فان كلا من النفط والغاز المتصاعدين من باطن الأرض سيجدان فى هذا الفتات الصخرى مكمنا جيدا ، وهذا هو مايبحث عنه القائمون بالبحث والحفر فى هذه المنطقة ، ويتوقعون وجوده عند الوصول الى هذه الطبقات .

وتقوم هذه الشركة السويدية بمحاولة الوصول بالحفر الى عمق نحو ٥٠٠٠ متر فى جوف الأرض للتحقق من هذه النظرية .

وهناك فريق آخر من العلماء فى الاتحاد السوفيتى الذين يعتقدون فى صحة هذه النظرية ، وقد بدأ هذا الفريق حفر أعمق بئر فى العالم قد يصل عمقها الى نحو خمسة عشر كيلو مترا للبحث عن منشأ كل من النفط والغاز ، ويتم هذا الحفر حاليا فى الدرع الجرانيتية بشبه جزيرة « كولا » شمال الدائرة القطبية ، وهى لا تبعد كثيرا عن منطقة « سيلجان » التابعة للسويد .

ويبدو أن العلماء السوفييت قد وجدوا عند هذا العمق مناطق مسامية تتوزع فيها الغازات والسوائل ، وكان من المتصور من قبل ان هذا شىء مستحيل حتى على عمق خمسة كيلومترات من الجرانيت ، لأن ثقل الصخور عند هذا العمق كفيل بسحق كل الفراغات والطبقات المسامية .

وأول من نادى بهذه النظرية الجديدة عالم فيزيقى فلكى يعمل بجامعة كورنيل فى ايتاكا بولاية نيويورك بالولايات المتحدة ، ويدعى « **توماس جولد** » .

ويرى « جولد » أن وجود المواد الهدروكربونية لايستلزم دائما وجود كائنات حية ، ففى بعض الكواكب الخارجية للمجموعة الشمسية مثل المشترى وزحل واورانوس ونبتون توجد بعض هذه الهدروكربونات مثل الميثان فى أجوائها بنسبة عالية ، وحتى التابع المسمى « تيتان » ، وهو تابع لكوكب زحل ، يحتوى جوه على كل من الميثان والاثيلين ، على الرغم من عدم وجود كائنات حية على مثل هذه الكواكب والتوابع .

ويرى هذا العالم كذلك ، ان اكتشاف كميات كبيرة من الغاز الطبيعى ذائبة فى المياه المالحة فى أعماق خليج المكسيك ، وفى مياه الخليج العربى ، يعد دليلا على أن مثل هذه الغازات الهدروكربونية قد تسربت الى المياه من باطن الأرض .

وقد قام « جولد » بنشر أول بحث من سلسلة بحوثه عام ١٩٧٩ ، ونادى فيها بان معظم المواد الهدروكربونية الموجودة على سطح الأرض وفى باطنها ، وكذلك على الكواكب الاخرى ، قد تكونت من مصادر غير بيولوجية .

وهو يرى كذلك ان عنصر الكربون الموجود ببعض الكواكب حديثة التكوين

قد يكون بعض المركبات التى لا يدخل فى تركيبها الاكسجين اى انه يكون فى حالة غير متأكسدة ، فيتحد بالهدروجين لتكوين مركبات هدروكربونية مثل الميثان الذى يتكون من ذرة واحدة من الكربون متحدة بأربع ذرات من الهدروجين ويرمز له بالرمز ك يد٤ .

وعلى الرغم من أن بعض هذه الهدروكربونات قد تكون فى الزمن القديم على سطح الأرض ، إلا أن ما اندثر منها فى باطن الأرض تعرض للحرارة المرتفعة لباطن الارض ، وبدأ فى التسرب تدريجيا الى القشرة الارضية ليتجمع فى الطبقات المسامية والمكامن الطبيعية .

وقد بقيت جزيئات الهدروكربونات الكبيرة على حالها دون تحلل رغم الحرارة العالية ، بسبب الضغط الهائل فى باطن الأرض ، ولكن عند صعود هذه الهدروكربونات خلال شقوق القشرة الأرضية ، يخف الضغط الواقع عليها ، ويتفكك جزء منها الى الغاز الطبيعى ، ويبقى الجزء الآخر على هيئة النفط .

ونحن نعرف هذه الظاهرة فى المعامل ، فعند تعرض بعض جزيئات الهدروكربونات للحرارة العالية ، تتكسر هذه الجزيئات وتتحول الى جزيئات صغيرة ، ثم تتحول فى نهاية الأمر الى غاز الميثان ويتحول جزء منها الى عنصر الكربون .

ولو أن نظرية تكون الهدروكربونات من اصل غير بيولوجى صحيحة ، لكان معنى ذلك ان الارض قد تحتوى فى باطنها على مصدر لاينضب من الغاز والنفط ، وقد تكون هناك مخازن ضخمة منها فى اماكن لم يخطر ببال أحد ان يحفر فيها ، وقد يعنى هذا أن كل دولة من الدول قد تجد فى أراضيها ما تحتاجه من غاز ونفط ، وتصبح افقر الدول من اغناها ، ولاتصبح هناك حاجة ملحة لاستخدام الطاقة الشمسية ، أو الطاقة النووية أو غيرهما .

والنظرية السائدة حاليا لتكوين المركبات الكربونية تنص على أن اكثر مركبات عنصر الكربون التى نعرفها إنما جاءت عن طريق غاز ثانى اكسيد الكربون من خلال عملية التمثيل الضوئى للنباتات .

وتتلخص عملية التمثيل الضوئى فى ان النباتات تمتص ثانى اكسيد الكربون من الهواء وتمتص الماء من سطح التربة ، ثم تحولهما معا فى وجود الكلوروفيل وضوء الشمس الى المواد العضوية التى نعرفها مثل الكربوهدرات والدهون والبروتينات ، وهى المواد التى تتحلل ، بعد طمرها فى التربة بعد موت الكائنات الحية ، الى هدروكربونات تكون النفط .

اما النظرية التى نحن بصددها ، فهى تفترض أن المواد الهدروكربونية قد تكونت فى بادىء الأمر ، وأن ظهور ثانى اكسيد الكربون إنما جاء نتيجة لتأكسد هذه الهدروكربونات ومنها الميثان الى ثانى اكسيد الكربون بواسطة اكسجين الهواء .

وقد اجتذبت هذه النظرية عددا غير قليل من العلماء ، فقد تبنى معهد بحوث الغاز فى شيكاغو بولاية الينوى فى الولايات المتحدة بعض البحوث المتعلقة بهذاالموضوع ، وخصص لذلك نحو مليونى دولار سنويا .

ويعترض بعض علماء الجيولوجيا على هذه النظرية الجديدة ، فهم يرون ان الميثان لايوجد فى باطن الأرض ، ويستدلون على ذلك بان ما يتصاعد من باطن الأرض عن طريق البراكين هو غاز ثانى اكسيد الكربون فقط ، واستنتجوا من ذلك ان معظم كربون الارض قد تحول الى ثانى اكسيد الكربون ، ولكن من الممكن أن يرد على ذلك بأن معظم غاز الميثان المتصاعد من باطن الأرض عن طريق البراكين قد يتأكسد فى اثناء صعوده مع الحمم البركانية ، ويتحول الى ثانى اكسيد الكربون ، خاصة وان هذه الحمم تحتوى على قدر كاف من الاكسجين ، وبذلك لايمكن الاستدلال من ظاهرة البراكين على نوع الغاز المتصاعد اصلا من باطن الأرض .

ومن الممكن ان يتصاعد غاز الميثان دون أن يتأكسد عن طريق الصدوع والشقوق الباردة عند اطراف القارات ، ومن الممكن كذلك ان يتم احتباس بعض هذه الهدروكربونات تحت غطاء من الصخر أو ان يذهب بعضها الآخر الى خزانات النفط الناتجة من تحول بعض المواد البيولوجية وبذلك يعزز ما بها من نفط .

ويرى مؤيدو النظرية الجديدة ان النفط والغاز الطبيعى يوجدان دائما عند إلتقاء فالق عميق فى قشرة الأرض مع حوض رسوبى يوفر المكمن المناسب .

وهم يرون ان معظم نفط الشرق الأوسط يوجد على امتداد الصفائح القارية حيث تشد وتدفع الصفائح العربية والافريقية والاسيوية بعضها البعض ، كما ان احتياطيات الهدروكربونات الغنية توجد بطول خط زلزالى وبركانى نشيط يمتد من غينيا الجديدة مارا باندونيسيا وبورما والصين ، عابر للجبال والوديان والمحيطات ، وتتجمع فى صخور رسوبية ذات تاريخ جيولوجى مختلف .

وتوجد كذلك المناطق الغنية بالنفط فى الولايات المتحدة فى حزام الضغط بجبال « روكى » ، حيث دُفعت شريحة من القشرة الارضية لتعلو شريحة اخرى ، وتوجد كذلك فى المناطق المجاورة لفالق « سانت اندرياس » بولاية

كاليفورنيا ، وفى مناطق وسط القارة التى تعلو الصدوع القديمة كما فى اوكلاهوما وتكساس .

ومن المعتقد ان نظرية تصاعد الهدروكربونات من باطن الأرض الى القشرة الارضية قد يفسر السبب فى تراكم كثير من احتياطيات النفط والغاز فى مناطق تقع بعضها فوق بعض ، فى داخل صخور مسامية ذات اعمار جيولوجية مختلفة تمام الاختلاف .

كذلك يمكن لنظرية صعود الهدروكربونات من أسفل الى أعلى أن تفسر السبب فى تراكم كميات هائلة من هذه الهدروكربونات فى مكان واحد او فى شريحة ضيقة من قشرة الأرض .

ففى منطقة الشرق الأوسط مثلا يوجد نحو ٢٥ حقلا ضخما من حقول النفط ، تحتوى على نحو ٦٠٪ من احتياطيات النفط المقدرة .

ويقدم علماء جيولوجيا النفط تفسيرا لهذه الظاهرة التى تتراكم فيها حقول ومكامن البترول فى حيز ضيق ، بان منطقة الخليج العربى وجبال ايران ووادى دجلة كانت لملايين السنين غورا ضخما يمتلىء بالحياة النباتية ، ثم تراكمت فوقها طبقات من الصخور الصماء التى شكلت غطاء ضخما حفظ النفط الناتج منها .

ويرى المعارضون ان هذا الفرض لا يكفى لتفسير هذا الاحتياطى الهائل من النفط الموجود بهذه المنطقة ، فليس من المعقول أن تكون هذه المنطقة الصغيرة ، والتى لاتزيد مساحتها على ١٪ من سطح الارض ، غنية بهذا الشكل الهائل بالحياة النباتية التى تستطيع انتاج كل هذه الكميات الهائلة من النفط .

والأرجح ان يكون تراكم مثل هذه الكميات الهائلة من النفط قد جاء من أصل غير بيولوجى ، نتيجة لتصاعد الهدروكربونات من شقوق فى اعماق قشرة الارض .

ويشير البعض الى أن كثيرا من نفط الشرق الاوسط يكاد يتشابه فى تكوينه الكيميائى رغم اختلاف الصخور والتكوينات الحاملة له ، ولايمكن تفسير ذلك الا بنظرية صعود الهدروكربونات من باطن الارض .

وفى واقع الأمر فإن النفط والغاز يرتبطان بشكل ملحوظ بالمناطق المعرضة للزلازل ، مما يوحى بأن الصدوع العميقة يمكن أن تعتبر طريقا لتسرب الغاز غير البيولوجى الأصل من أسفل الى أعلى .

ويفسر صعود بعض هذه الهدروكربونات مثل الميثان كثيرا من الظواهر

المصاحبة للزلازل ، مثل ارتفاع مياه الآبار وفورانها ، والسلوك الغريب لبعض الحيوانات قبل حدوث الزلازل ، فاغلب الحيوانات لها قوة شم كبيرة وقد تستطيع شم رائحة مثل هذه الغازات ، فتشعر بشىء من الدوار وتبدأ فى الهروب من المنطقة .

وقد قام الدكتور « **هارمون كريج** » ، من مؤسسة « **سكريبس** للدراسات الاقيانوسية » عام ١٩٧٩ ، بالنزول الى قاع المحيط الهادى فى غواصة خاصة ، وقام بجمع عينات من الغاز المنبعث من قاع المحيط فى موضع يعرف **بمنبع شرق المحيط الهادى** ، وهو موضع تتدفق منه الغازات والحمم الملتهبة ، واكتشف وجود غاز الميثان ضمن هذه الغازات ، ومن الطبيعى أن مثل هذا الموقع فى اعماق المحيط تنعدم فيه تماما الرسوبيات البيولوجية من أى نوع ، ولاشك ان هذا يعزز الى حد ما نظرية صعود الهدروكربونات من باطن الارض .

ومازال الأمر سجالا بين مؤيدى نظرية النشوء البيولوجى للهدروكربونات ، ومؤيدى نظرية نشوء النفط والغاز الطبيعى من اصول غير عضوية .

وجود البتـــرول

يوجد البترول فى بعض المناطق على هيئة برك صغيرة فوق سطح الأرض ، وذلك نتيجة لتسرب الزيت من باطن الأرض عن طريق بعض الصدوع أو الشقوق الصغيرة فى قشرة الأرض .

وعادة ماتكون هذه البرك البترولية ضحلة ، فلا تبقى على حالها ، فسرعان ما تتبخر منها أغلب المواد الطيارة بتأثير حرارة الشمس ، وتتحول هذه البرك بمرور الوقت الى مسطحات مغطاة بالقار والأسفلت ، ويساعد على ذلك بعض تفاعلات الاكسدة التى تحدث بين بعض مكوناتها وبين اكسجين الهواء فى وجود اشعة الشمس .

وفى المراحل الأولى لتحول زيت هذه البرك الى اسفلت ، يكون هناك قدر صغير من المواد المتطايرة التى لم تتبخر بعد ، ولذلك فان الاسفلت يكون لزجا الى حد كبير ويعمل كمصيدة رهيبة لكل مايقع فيه .

وقد وجدت فى بعض مناطق الولايات المتحدة حفريات يتجمع بها عدد كبير من هياكل الديناصورات وبعض الحيوانات الاخرى . ويبدو ان هذه المقبرة الجماعية كانت أصلا احدى برك الاسفلت عالى اللزوجة ثم وقعت بها بعض هذه الحيوانات فى عصور ما قبل التاريخ ، ولم يستطع اى من هذه الحيوانات ان يفلت

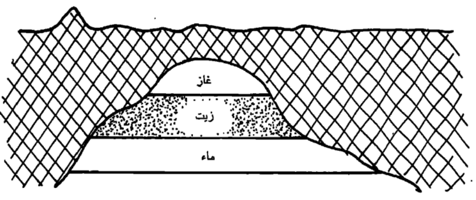
من مصيره المحتوم ، وبقيت هياكل هذه الحيوانات محفوظة كما هى فى هذا الاسفلت .

وعندما تفقد بركة الاسفلت كل ما بها من مواد متطايرة ، يتحول سطح البركة الى طبقة جامدة صلبة مثل ارضية الطرق التى نسير عليها .

وهذه البرك البترولية التى تتكون بنز الزيت ، نادرة الوجود ، فاغلب مانحصل عليه من زيت البترول يأتى من باطن الأرض .

ويتجمع البترول تحت سطح الأرض فى طبقات الصخور المسامية مثل الصخور الجيرية أو الحجر الرملى ، وعندما تحيط الصخور الصلدة غير المسامية بهذه الطبقات ، يمتنع تسرب الزيت منها ويتكون مايعرف بالمكمن ، ويبقى الزيت مخزونا فيه حتى يتم الوصول اليه بحفر الآبار .

وعادة مايجتمع فى هذه المكامن كل من زيت البترول والماء الملح والغاز الطبيعى ، وتتكون منها جميعا طبقات ثلاث ، فالغاز الطبيعى يكون الطبقة العليا ، على حين يتجمع الماء على هيئة طبقة سفلى ، ويقع الزيت بينهما فى الطبقة الوسطى .



شكل ٢ ـ ١ مكمن زيت البترول

ويذوب جزء من هذا ألغاز فى طبقة الزيت تحت ضغط المكمن ، وعندما يبلغ الزيت سطح الأرض ، تتمدد الغازات الذائبة فى الزيت ، ويزداد حجمها كثيرا ، وقد يبلغ حجمها عند فوهة البئر نحو مائتى مرة قدر حجم الزيت نفسه .

وعند حفر بئر للوصول الى مكمن زيت البترول فى باطن الأرض ، فان ضغط الغاز الموجود بالمكمن وضغط الغاز الذائب فى الزيت ، يدفع الزيت من فوهة البئر

بعنف شديد على هيئة نافورة قد يصل ارتفاعها الى عشرات الامتار فوق سطح الارض .

وعندما يكون ضغط المكمن عاليا ، فان الزيت قد ينفدع كذلك الى سطح الارض بتأثير ضغط الماء المصاحب له .

ويمثل اندفاع زيت البترول من فوهة الآبار بهذا العنف الشديد صعوبة كبيرة بالنسبة لمهندسى البترول ، وقد يتسبب ذلك، فى فقد كميات ضخمة من البترول من بعض الآبار .

وقد تم ابتكار بعض الطرق الحديثة للسيطرة على الضغط الداخلى للبئر ومنع حدوث هذا الفوران .

استخراج زيت البترول من باطن الأرض

يستخرج معظم البترول المستخدم عالميا اليوم من باطن الأرض بحفر آبار خاصة تصل الى مكامنه التى يختزن فيها .

وتتكلف عملية الحفر كثيرا من المال فى أغلب الأحوال ، ويعتمد ذلك على العمق الذى يصل اليه الحفر وعلى طبيعة الصخور التى يحفر فيها البئر ، وقد تصل تكلفة البئر الواحدة فى بعض الحالات الى عدة ملايين من الدولارات .

ونظرا لارتفاع تكاليف حفر الآبار ، فإن الأمر يتطلب دائما اجراء بعض عمليات الاستكشاف والتنقيب قبل البدء فى عملية الحفر ، وذلك للاستدلال على احتمالات وجود البترول فى باطن الارض .

ونتيجة للطلب المتزايد اليوم على منتجات البترول بانواعها المختلفة ، فقد قامت شركات البترول العالمية بدراسة كثير من المناطق التى يحتمل وجود البترول فيها على مستوى العالم ، بما فيها من مناطق مغمورة بمياه البحار ، أو مغطاة بالجليد .

وقد تم تصنيف هذه المناطق طبقا لطبيعتها ولاحتمالات وجود البترول فيها ، وامكانية استخراجه منها بطريقة اقتصادية ، واستخدمت فى هذه العمليات الخاصة بالتنقيب والاستكشاف كثير من الوسائل العلمية الحديثة ، فاستعملت فيها اجهزة قياس المجال المغنطيسى ، واجهزة قياس جاذبية الارض وطرق التصوير الجوى الى غير ذلك من الاجهزة والطرق المستحدثة .

وقد امكن باستخدام اجهزة قياس الجاذبية الارضية ، وهى اجهزة فائقة

الحساسية ، تعيين طبيعة الصخور الموجودة بباطن الأرض فى منطقة من المناطق ، فالجاذبية الارضية تزداد عند وجود صخور ثقيلة وتقل عند وجود صخور خفيفة ، او عند وجود الصخور الثقيلة فى باطن الارض على بعد كبير من السطح ، وقد امكن بهذه الاجهزة اكتشاف بعض الفراغات او المصايد المحتوية على البترول .

كذلك استعملت اجهزة رصد الزلازل المعروفة باسم « **سيسموجراف** » "Seismograph" فى اكتشاف بعض مكامن الزيت ، فتفجر عبوة ناسفة فى مكان مناسب ، ثم تقاس سرعة انتقال الذبذبات المنعكسة من الصخور فى كل اتجاه ، ومنها تعرف انواع الصخور الموجودة بباطن الأرض فى هذه المنطقة ، وتحديد انسب المواقع لحفر الآبار .

وهناك طرق اخرى للتأكد من وجود الطبقات الحاملة للزيت فى اثناء الحفر ، ويستخدم التيار الكهربائى فى احدى هذه الطرق ، ويتم ذلك بانزال جهاز صغير فى جوف البئر ، يرسل تيارا كهربائيا فى الطبقات الصخرية المحيطة بالبئر ثم تسجل مقاومة هذه الصخور للتيار ، وتحلل النتائج ، ومنها يتحدد اتجاه الحفر وعمق البئر .

وعلى الرغم من استخدام كل هذه الوسائل العلمية الحديثة للتأكد من وجود الزيت فى منطقة من المناطق ، فلا يزال هناك عدد كبير من عمليات حفر الآبار التى لاتؤدى الى نتائج ايجابية ، ولا شك انه كلما زادت نسبة الفشل فى الوصول الى مكامن الزيت ، زادت تكلفة الحفر فى هذا الحقل .

طرق حفر الآبار

كانت الطرق المستخدمة فى حفر آبار البترول فى أول الأمر ، طرق بدائية لاتصلح الا لحفر آبار سطحية محدودة العمق .

وكانت اولى الطرق المستخدمة فى هذا المجال تعرف باسم « **الحفر بالدق** » وفيها تربط لقمة حفر ثقيلة بحبل غليظ من السلك المجدول ، ثم ترفع هذه اللقمة الى اعلى وتترك لتسقط وترتطم بالصخر .

وبتكرار هذه العملية يبدأ الصخر فى التفتت ، ويزداد عمق الحفر حتى تصل البئر الى العمق المطلوب .

وقد استخدمت هذه الطريقة فيما مضى فى حفر كثير من الآبار ، إما لاستخراج الماء أو لاستخراج البترول ، ثم بطل استخدامها عام ١٩٢٠ عندما استبدلت بطريقة « الحفر الدائرى » .

وتتلخص طريقة **الحفر الدائرى** ، وهى الطريقة المستخدمة حاليا فى كل حقول البترول ، فى اقامة منصة حول منطقة الحفر ، يركب عليها برج خاص يستخدم فى عملية الحفر وفى انزال الانابيب فى جوف البئر ، وقد يصل ارتفاع هذا البرج ، الذى يعرف باسم برج الحفر ، الى عشرين مترا فوق سطح الأرض .

وتستخدم فى هذه الطريقة لقمة حفر متصلة بانبوبة مجوفة تدور حول نفسها بواسطة آلة خاصة ، فتدور معها لقمة الحفر وتبدأ فى اختراق الصخور اثناء دورانها ، وتشبه هذه العملية مايقوم به المثقاب الذى يستعمله النجار لثقب الخشب .

وهناك انواع متعددة من لقم الحفر ، وهى تصنع من الصلب شديد الصلابة ، وعادة ماتكون هذه اللقم مجوفة من الداخل ، وبها اسنان حادة فى اطرافها ، وهى تختلف فى اشكالها تبعا لاختلاف انواع الصخور المراد حفرها ، وقد توضع فى اطرافها قطع صغيرة من الماس لزيادة قدرتها على اختراق الصخور .

ويزداد عمق البئر تدريجيا بتقدم عملية الحفر ، ويتم انزال انابيب جديدة من برج الحفر كلما زاد عمق البئر حتى يتم الوصول الى مكمن الزيت .

ويستخدم فى حفر آبار البترول سائل لزج القوام يعرف باسم **طينة الحفر** ، وتتكون هذه الطينة من انواع خاصة من الطفل دقيق الحبيبات التى اضيفت اليها بعض المواد الكيميائية .

ويدفع تيار من هذه الطينة فى تجويف انبوبة الحفر اثناء دورانها ، وتصل هذه الطينة الى قاع البئر ، ثم تصعد الى سطح الارض مرة اخرى مارة بين السطح الخارجى لانبوبة الحفر وبين جدران البئر .

وتخدم طينة الحفر عدة اغراض ، فهى تساعد على تبريد لقمة الحفر التى ترتفع درجة حرارتها بشكل كبير اثناء دورانها واحتكاكها بالصخور الصلبة ، كما ان هذه الطينة تحمل معها كثيرا من فتات الصخور الناتجة من الحفر الى سطح الأرض ، بالاضافة الى انها تساعد على تماسك جدران البئر وتمنع انهيارها فى اثناء عملية الحفر .

ولطينة الحفر فائدة اخرى رئيسية ، فعند وصول لقمة الحفر الى مكمن الزيت ، تساعد طينة الحفر اللزجة على مقاومة ضغط الغازات الموجودة بالمكمن ، ويمكن بذلك السيطرة نسبيا على هذه البئر .

وتبطن آبار البترول عادة بمجموعة من الأنابيب المصنوعة من الصلب

تتداخل اطرافها بعضها مع بعض وتلتصق بجدار البئر ، وهى تعرف عادة باسم « **البطانة** » "Cassing" .

وعندما ينتهى حفر البئر ، اى عندما تصل البئر الى العمق المطلوب ، تنزل بها انبوبة جديدة من نوع خاص ، لايزيد قطرها على ٥ ـ ٦ سم ، حتى تصل الى قاع البئر ، ثم يملأ الفراغ الحلقى الذى يفصل بين هذه الانبوبة وبين البطانة السابقة ، بالاسمنت ، فلا يتبقى امام البترول الصاعد من قاع البئر الا ان يمر خلال هذه الانبوبة الى سطح الارض .

وينتهى الطرف العلوى لهذه الانبوبة بمجموعة من الصمامات وعدادات القياس للمساعدة على التحكم فى معدل اندفاع البترول من البئر ، وتتفرع هذه العدادات والصمامات لتشبه الشجرة حتى انه يطلق عليها مجازا اسم « **شجرة الكريسماس** » "Chrismas Tree" .

وعندما يكون ضغط الغازات فى مكمن الزيت عاليا ، فان زيت البترول يندفع صاعدا فى البئر وحدة تحت ضغط الغازات المصاحبة له ، ولايحتاج الامر فى هذه الحالة الى استعمال المضخات لرفعة الى سطح الارض .

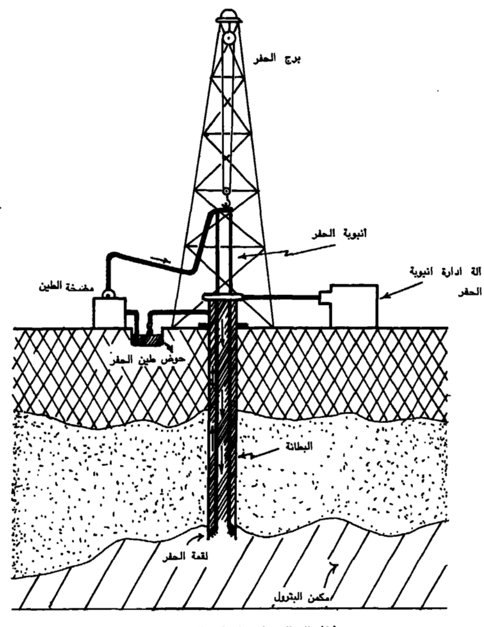
كذلك قد يندفع زيت البترول الى سطح الأرض تحت ضغط الماء الموجود بالمكمن ، ولاتستعمل المضخات عادة الا عندما يقل الضغط فى قاع البئر ويصبح غير كاف لرفع الزيت الى سطح الارض .

وعندما يقل الضغط فى مكمن الزيت كثيرا ، يتم اللجوء الى طريقة الحقن ، فيعاد ضغط جزء من الغاز المصاحب للزيت فى باطن الأرض للمساعدة على رفع ماتبقى من الزيت الى سطح الارض .

وقد يستبدل الغاز بالماء لزيادة ضغط الزيت فى المكمن ، كما ان هناك طريقة اخرى مستحدثة تصلح لاستخراج بقايا الزيت من باطن الارض ، وتستخدم فيها انواع من البوليمرات ذات النشاط السطحى تؤدى الى تحويل بقايا الزيت الى مستحلب مائى يمكن دفعه الى سطح الأرض .

ويختلف ضغط قاع البئر عن ضغط فوهتها ، ولذلك نجد أن الغازات الذائبة فى زيت البترول عند قاع البئر تبدأ فى الانفصال عنه عند فوهة البئر ، ولهذا يتم دفع الزيت الخارج من فوهة البئر ، والذى يحتوى على قدر كبير من الغازات الذائبة ، الى اجهزة فصل خاصة يتم فيها فصل هذه الغازات عن الزيت .

وعندما تكون نسبة الغازات المصاحبة للزيت قليلة ، فان هذه الغازات تصبح



شكل ٢ - ٢ جهاز حفر آبار البترول

قليلة القيمة من الناحية الاقتصادية ، ويتم التخلص منها مباشرة بحرقها فى حقل البترول بعد دفعها فى انابيبت خاصة بعيدا عن آبار البترول .

اما اذا كانت نسبة هذه الغازات مرتفعه ، فان قيمتها الاقتصادية فى هذه الحالة تصبح كبيرة ، ولذلك فهى تجمع وتدفع فى خطوط خاصة الى وحدات تقوم بتنقيتها وفصل بعض مكوناتها .

وتعرف هذه الغازات باسم **الغاز الطبيعى** ، وهى متغيرة التركيب وتختلف

طبيعتها من مكان لآخر ، ولكنها تحتوى على بعض الهدروكربونات ذات الجزيئات الصغيرة مثل الميثان والايثان والبروبان والبيوتان ، وهى تستعمل وقودا لان القيمة الحرارية لهذه الغازات تفوق كثيرا القيمة الحرارية الناتجة من غاز الفحم التقليدى .

وقد يستعمل الغاز الطبيعى فى تصنيع بعض المواد والمنتجات الهامة كما سنرى فيما بعد ، وقد يعاد ضخ جزء من هذا الغاز فى البئر مرة أخرى لرفع ضغط المكمن ودفع الزيت الى سطح الارض .

ويدفع الزيت الخام بعد فصل الغازات منه ، الى صهاريج خاصة تقوم بتجميعه وتخزينه توطئة لنقلة الى معامل التكرير او الى الاسواق العالمية .

ويحتوى حقل البترول عادة على عدد كبير من هذه الصهاريج ، وتعرف التجمعات الكبيرة من هذه الصهاريج « **بمزرعة الصهاريج** » "Tank Farm" للدلالة على اعدادها الكبيرة وانتشارها فوق رقعة كبيرة من الارض .

وتختلف سعة هذه الصهاريج من حقل لآخر ، فهى قد تتسع لعدة مئات من البراميل او لعدة آلاف من البراميل ، وذلك تبعا لكميات البترول المنتجة من آبار الحقل ، وقد تصل سعة بعض هذه الصهاريج الضخمة الى نحو ٨٠,٠٠٠ برميل حتى يمكن أن تستقبل حجم البترول الضخم الناتج من حقول البترول الكبيرة التى يحفر بها عدد كبير من الآبار المنتجة .

نقل البترول

تقع آبار البترول وحقوله فى اغلب الاحوال ، فى أماكن بعيدة عن الاسواق التى تحتاج الى استخدام هذا المنتج ، ولذلك فان عمليات نقل البترول تعتبر من أهم الخطوات فى صناعة البترول .

وقد كان البترول ينقل فيما مضى بواسطة العربات التى تحمل البراميل ، كما كان ينقل عن طريق السكك الحديدية أو بالصنادل البحرية ، خاصة عندما تكون حقول البترول ومعامل تكريره متقاربة .

ولكن الحال ليس كذلك على الدوام ، فقد تم فى السنوات الأخيرة اكتشاف حقول جديدة للبترول فى اماكن نائية وبعيدة كل البعد عن المراكز الصناعية التى تستخدم هذا المنتج .

ونظرا لأن زيت البترول لايستخدم على حالته التى يستخرج بها من

الارض ، بل يجب ان يمر بمراحل مختلفة تتضمن فصل بعض مكوناته وتنقيتها ، فان الامر يتطلب ضرورة اقامة تجهيزات خاصة بهذا الشأن تعرف بمعامل التكرير ، وهى تقام عادة بجوار المناطق الصناعية او فى اماكن قريبة منها ، ولذلك يجب نقل البترول كذلك من الحقول المنتجة له الى هذه المعامل ، وابتكار وسائل خاصة تستطيع نقل كميات كبيرة ذات حجم اقتصادى .

ويتم نقل البترول عادة فوق سطح الارض لمسافات طويلة بواسطة **خطوط انابيب خاصة** ، ويتم نقله بين القارات عن طريق البحر بواسطة سفن خاصة تعرف باسم **ناقلات البترول** ، وفى حالات نادرة يتم نقل زيت البترول بواسطة السكك الحديدية او بواسطة عربات الصهاريج ، خاصة عندما تكون كميات البترول صغيرة الحجم ومسافة النقل قصيرة نسبيا .

ويعتبر النقل بواسطة ناقلات البترول عن طريق البحر من ارخص طرق النقل ، ويمكن بواسطتها نقل كميات كبيرة من البترول الخام الى معامل التكرير ونقل مقطرات البترول النقية الى المراكز الصناعية .

وتستخدم حاليا ناقلات هائلة الحجم تقوم بنقل مئات الالوف من الاطنان فى المرة الواحدة ، وهى تعرف باسم « **الناقلات العملاقة** » "Supertankers" ويستطيع بعض منها ان ينقل عدة ملايين من براميل البترول فى المرة الواحدة .

وعلى الرغم من ان هذه الناقلات العملاقة ضرورية لتوفير احتياجات المراكز الصناعية المختلفة من البترول ، الا ان لها مشاكلها الخاصة ، فكثير من الموانىء الحالية فى اغلب الدول ، لاتستطيع استقبالها بسبب حجمها الكبير وعمق غاطسها الذى يزيد على عمق اغلب الموانىء العادية .

كذلك فان عمق غاطس هذه الناقلات يحدد امكانية مرورها فى الممرات المائية الضيقة مثل قناة السويس .

وعند وقوع حادث لاحدى هذه الناقلات العملاقة ، فان كمية البترول التى تفقد فى ماء البحر تمثل خسارة فادحة تبلغ ملايين الدولارات ، ولذلك فان كل هذه الناقلات العملاقة تجهز بمعدات ملاحية حديثة ومتطورة ، مثل اجهزة الرادار ، واجهزة الاعماق التى تستخدم الموجات الصوتية ، وانواع حديثة من البوصلات ، واجهزه اخرى متطورة لمنع حدوث الحرائق فيها .

وتسبب بعض هذه الناقلات كذلك بعض المشاكل للبيئة المحيطة بها ، فعند وقوع حادث لها يؤدى الى انسكاب ما بها من بترول الى ماء البحر ، فان هذه الكميات الضخمة من البترول تغطى مساحة هائلة من سطح البحر ، وتلوث مياه

هذه المنطقة وتؤثر تأثيرا سيئا على حياة الكائنات الحية الموجودة بها .

كذلك يتلوث هواء هذه المنطقة بابخرة المواد المتطايرة التى تتصاعد من بقعة الزيت الضخمة ، مما يسبب ضررا شديدا لسكان الشواطىء القريبة من مكان الحادث .

وتستعمل خطوط الانابيب لنقل البترول فوق سطح الارض ، وقد تمتد هذه الخطوط لمسافات طويلة ، وهى تقوم عادة بنقل البترول الخام الى معامل التكرير ، او نقل البترول الخام من حقول البترول إلى موانىء الشحن على شواطىء البحار ، ولكنها تقوم بنقل بعض مقطرات البترول النقية فى بعض الاحيان .

وقد استخدم خط انابيب من هذا النوع فى الولايات المتحدة ، لنقل البترول فى اثناء الحرب العالمية الثانية من حقول تكساس الى نيويورك ، ومازال هذا الخط قائما حتى اليوم ، ولكنه يستعمل الآن فى نقل الغاز الطبيعى .

وهناك كذلك خط انابيب طويل يمتد عبر هضاب الاسكا ، ويبلغ طوله نحو ١٣٠٠ كيلو متر ، وينقل هذا الخط زيت البترول الخام من حقوله فى الشمال الى خليج الاسكا ، ويعبر هذا الخط فى طريقه عدة انهار .

كذلك يوجد خط انابيب طويل آخر فى كندا ، يمتد نحو ٣٠٠٠ من الكيلومترات ، وهو ينقل البترول الخام من البحيرات العظمى الى ولاية ويسكونسن ، كما ان هناك خط انابيب آخر يمتد عبر سيبريا بالاتحاد السوفيتى ، وخطاً آخر جديداً ينشأ حاليا ليمد اوروبا بالغاز الطبيعى (او البترول) الوارد من الاتحاد السوفيتى .

وهناك خطوط انابيب اخرى فى منطقة الشرق الأوسط الغنية بالبترول ، ومن امثلتها خط الانابيب الذى يمتد من حقول البترول فى كركوك بالعراق الى طرابلس بلبنان على شاطىء البحر الابيض ، وكذلك خط الانابيب المعروف باسم « **تاب لاين** » ، الممتد من حقول البترول فى السعودية الى شاطىء البحر الابيض الشرقى ، وخط الانابيب المسمى « **سوميد** » الممتد من ميناء السويس بجمهورية مصر العربية الى الاسكندرية على شاطىء البحر الابيض المتوسط .

تكرير البترول

يتكون زيت البترول بصفة عامة من خليط من الهدروكربونات التى تتكون جزيئاتها من ذرات الكربون والهدروجين .

ويختلف تركيب زيت البترول من مكان لآخر ، فبعض انواع الزيوت قد يحتوى على سلاسل مستقيمة غير مشبعة من ذرات الكربون تعرف بالاوليفينات ، وقد يحتوى بعضها الآخر على هدروكربونات حلقية تعرف باسم النافثينات او المواد الاروماتية ، وهى مركبات تترتب ذرات الكربون فى جزيئاتها على هيئة حلقات .

وبعض هذه الزيوت قد يكون برافينى الاساس ، اى يتكون من سلاسل مشبعة من ذرات الكربون بنسبة عالية قد تصل الى ٧٥٪ ، على حين قد تحتوى بعض الزيوت الاخرى على نسبة عالية من النافثينات الحلقية ، قد تصل الى نحو ٧٠٪ كما فى بعض انواع البترول الروسى .

وتختلف كذلك طبيعة المواد التى تتبقى بعد عمليات تقطير الخام من زيت لآخر ، فبعض انواع الزيت الامريكى ينتج من تقطيره متبقى شبه صلب يشبه الشمع ، على حين ان بعض انواع الزيت المكسيكى تترك بعد تقطيرها مادة لزجة بها قدر كبير من القار والبتيومين ، وتشبه الاسفلت فى قوامها .

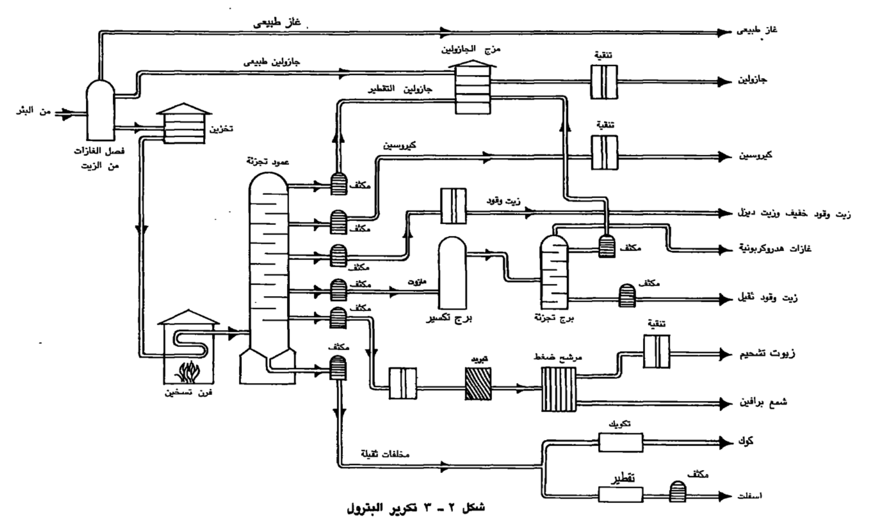
ويتضح مما سبق ان زيت البترول الخام يتكون من خليط من انواع متعددة من الهدروكربونات التى تختلف كثيرا فى طبيعتها وفى خواصها ، ولهذا لايمكن تسويق زيت البترول او استخدامه بهيئته الخام التى يستخرج بها من الارض ، بل يجب ان يتم فصله الى بعض مكوناته التى يمكن استخدام كل منها فى غرض من الاغراض .

وتعرف عملية فصل الزيت الخام الى بعض مكوناته **بطريقة التقطير** كما تعرف طريقة تنقية هذه المكونات من الشوائب باسم **عملية التكرير** .

وتختلف طريقة تكرير البترول المستعملة اليوم عن الطريقة التى كانت مستخدمة فيما مضى ، ففى السنوات التى سبقت عام ١٩٠٠ ، كانت عملية التكرير تتم على دفعات بطريقة التشغيلات المنفصلة ، فيوضع قدر محدود من الزيت الخام فى اناء التقطير ، ثم يسخن الزيت وتجمع المقطرات الناتجة ، وبعد انتهاء عملية التقطير ، يملأ اناء التقطير بدفعة اخرى من الزيت وتكرر العملية .

اما اليوم ، فتجرى عملية تكرير زيت البترول بالطريقة المستمرة حيث يشحن برج التقطير باستمرار بالزيت الساخن وتجمع المقطرات كل على حدة اثناء عملية التقطير المستمرة .

وقد كانت عملية التكرير فيما مضى تتضمن فصل الزيت الخام الى اربعة مقطرات فقط . ولم يكن هناك احتياج فى ذلك الحين الى المقطرات الخفيفة وهى اول ما يتصاعد من ابخرة عند تسخين الزيت الخام ، وذلك لأن محركات الاحتراق



شكل ٢ ـ ٣ تكرير البترول

الداخلى لم تكن معروفة فى ذلك الحين ، فلم تكن هناك سيارات أو طائرات وهى التى تستهلك محركاتها اليوم القدر الاكبر من هذه المقطرات الخفيفة .

وقد نتج عن ذلك ان اعتبرت هذه المقطرات الخفيفة فى ذلك الحين ، مقطرات لافائدة منها ، وكانت الكميات التى تتجمع من هذه المقطرات تحير القائمين على عمليات تقطير وتكرير الزيت الخام ، وتمثل مشكلة كبيرة بالنسبة لهم ، فلم يكونوا يعرفون كيف يتخلصون منها ، ولذلك كانوا يعيدونها الى باطن الارض فى كثير من الاحيان .

ويكرر الزيت الخام حاليا الى عديد من المنتجات النافعة التى تقوم عليها عشرات من الصناعات الهامة وتمثل القوة المحركة فى المصانع وفى وسائل النقل والمواصلات .

وتبدأ عملية التكرير بفصل الزيت الخام الى عدة مكونات تعرف باسم « **القطفات** » ، ويجمع كل منها عند درجة غليان معينة .

ولايمكن فصل كل هدروكربون من مكونات الزيت الخام على حدة ، أى فى حالته النقية ، وذلك لأن كثيرا من هذه المواد الهدروكربونية تكون درجات غليانها متقاربة الى حد كبير ، مما يصعب معه فصلها بطريقة التقطير ، ولذلك فان عملية التقطير تجرى بطريقة فصل القطفات التى تغلى بين حدين متقاربين ، أى بين ١٠٠ ـ ١٥٠ ° م مثلا ، وبذلك تحتوى كل قطفة على خليط متماثل من الهدروكربونات التى لاتختلف كثيرا فى التركيب .

وتعرف هذه الطريقة التى يقطر فيها الزيت الخام الى قطفات أو أجزاء ، باسم « **التقطير التجزيئى** » .

وقد كانت المقطرات الوسطى قبل عام ١٩٠٠ ، هى أهم المقطرات التى يتم الحصول عليهابتقطير الزيت الخام ، وعرفت باسم « الكيروسين » أو « البرافين » وكانت تستخدم أساسا فى عمليات الانارة .

أما المقطرات الاخرى التى كانت تغلى فى درجات أعلى من المقطرات الوسطى ، فكانت تستخدم وقودا فى الأفران أو فى انتاج البخار فى الغلايات ، ويستعمل مايتبقى من الخام بعد ذلك فى عمليات التشحيم .

ويتضح من ذلك أن زيت البترول فى ذلك الحين ، كان يستخدم استخداما محدودا ، وهو وضع فرضته ظروف النمو الاقتصادى والتقدم العلمى فى ذلك الوقت .

وفى مستهل القرن العشرين بدأ استعمال محركات الاحتراق الداخلى ، وقل الاعتماد على الكيروسين فى عمليات الاضاءة بعد استخدام الكهرباء ، ولذلك زاد الطلب كثيرا على المقطرات الخفيفة مثل الجازولين ، وقل الطلب على الكيروسين .

وقد ترتب على زيادة الطلب على الجازولين أن ازداد الطلب على زيت البترول ، وزادت الكميات المستخرجة منه من باطن الارض ، وقد ادى ذلك الى وجود فائض كبير لدى معامل التكرير وشركات البترول ، من الكيروسين الذى لم تكن هناك حاجة كبيرة اليه .

وقد أدى اختراع الطائرات وابتكار محركات الديزل فيما بعد الى استهلاك قدر كبير من فائض الكيروسين .

وتتم عملية التكرير اليوم فى معامل خاصة تعرف باسم معامل التكرير . ويشبه معمل التكرير الحديث غابة من الابراج والخزانات ، وهو يشغل عادة مساحة هائلة تمتد فيها شبكة ضخمة من الانابيب المعلقة فى الهواء على حوامل خاصة ، وتصل بين الابراج والصهاريج والافران .

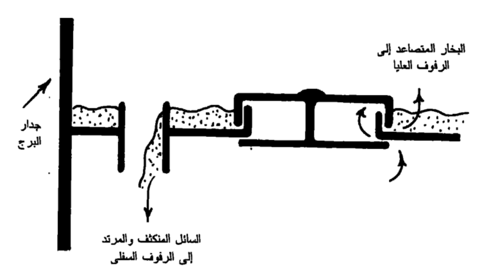
وتنقسم العمليات الاساسية التى تجرى فى معمل التكرير الى قسمين رئيسيين ، القسم الأول منها يتضمن عمليات التقطير والتجزئة ، والقسم الثانى يشتمل على عمليات التكسير لتحويل المقطرات الثقيلة الى مقطرات خفيفة .

وتتم عملية التقطير التجزيئى للزيت الخام فى معامل التكرير الحديثة بشكل متصل ومستمر ، فيدخل الزيت الخام الى بداية خط التكرير ، وتخرج المقطرات المطلوبة من نهايته بشكل مستمر ، ويمكن بذلك تكرير آلاف الاطنان من الزيت الخام فى اليوم .

ويجب ان يكون الزيت الخام المعد للتقطير خاليا من الغازات ، ولذلك يتم تسخينه اولا لفصل ما به من غازات حتى لاتتسبب هذه الغازات فى زيادة الضغط داخل اجهزة التقطير ، وتجمع الغازات الناتجة وتضم الى غيرها من الغازات الهدروكربونية لاستعمالها فى اغراض اخرى .

كذلك يجب ان يكون الزيت الخام خاليا من الماء والأملاح ، ويتم فصل الماء الملح من الزيت عادة فى حقل البترول قبل تخزينه فى الصهاريج ، وقبل نقله الى معامل التكرير .

ويسخن الزيت الخام المراد تقطيره بامراره فى انابيب حلزونية داخل افران خاصة ، فترتفع درجة حرارته الى ٤٠٠ ـ ٤٥٠ ° م ، ثم يدفع هذا الزيت الساخن



شكل ٢ ـ ٤ احدى الفتحات برفوف برج التجزئة

الذى يكون فى هذه الحالة على هيئة خليط من السائل والبخار ، الى الجزء الاسفل من برج التجزئة ، فتتطاير الاجزاء الخفيفة الى قمة البرج ، وتتجمع الاجزاء الثقيلة فى قاع البرج .

وبرج التجزئة عبارة عن اسطوانة طويلة من المعدن تقف فى وضع رأسى ، وقد يبلغ ارتفاعه نحو ثلاثين مترا .

ويحتوى هذا البرج على عديد من الرفوف المعدنية وتحتوى هذه الرفوف على فتحات خاصة مصممة بطريقة تسمح بمرور ابخرة المواد المتطايرة خلالها لتصعد الى الرفوف العليا ، بينما تتجمع السوائل المتكثفة على سطوحها وترتد الى الرفوف السفلى .

وعلى هذا الاساس ، فان ابخرة الزيت الخام عندما تدخل فى الجزء الاسفل من برج التجزئة ، تنقسم الى عدة اجزاء ، فالهدروكربونات ذات السلاسل القصيره ، والتى تكون درجات غليانها منخفضة ، تكون هى الاكثر تطايرا ، وتمر على هيئة بخار صاعدة الى قمة برج التجزئة ، على حين تتكثف ابخرة السوائل الهدروكربونية الأقل تطايرا ، وتتجمع على الرفوف فى منتصف البرج ، بينما تتجمع السوائل ذات درجات الغليان المرتفعة بالقرب من قاعدة البرج .

ويتضح من ذلك ان قمة برج التجزئة هى ابرد مكان فيه ، وتخرج منها ابخره المقطرات الخفيفة (المتطايرة) التى لم تتكثف داخل البرج ، وبعد ان يتم تبريد هذه الأبخرة فى مكثفات خاصة ، وتنفصل منها الغازات ، تتحول الى سائل الجازولين ، وهو يتقطر عادة بين ٤٠ ـ ٨٠° م .

ويجمع الكيروسين من المنطقة التى تقع اسفل قمة البرج ، ثم تجمع زيوت الوقود من المنطقة الوسطى ، وتجمع الزيوت الثقيلة من الجزء الاسفل من البرج ، ويتم تقطير هذه الزيوت الثقيلة فيما بعد تحت ضغط مخلخل حتى لاتتفحم بالحرارة ، وتفصل منها زيوت التشحيم وشمع البرافين .

أما المخلفات الثقيلة التى تتبقى فى قاع البرج ، فيتم سحبها وتعامل معاملة خاصة وينتج منها الاسفلت والبتيومين والكوك .

وبالرغم من اختلاف تركيب زيوت البترول المستخرجة من مناطق مختلفة ، الا ان جميع هذه الزيوت الخام تخضع لعملية تكرير وتجزئة مماثلة ، وتفصل الى قطفات او اجزاء تستخدم فى مختلف الاغراض .

التكسير : "Cracking"

كانت احدى المشكلات الرئيسية التى جابهت شركات البترول ، هى كيفية تسويق منتجات التقطير المختلفة الناتجة من عمليات التكرير ، خاصة تلك المقطرات الثقيلة التى يقل عليها الطلب فى الاسواق العالمية .

ونظرا للتقدم الهائل الذى حدث فى كثير من الدول ، فقد انتشر استخدام السيارات والطائرات فى المواصلات وفى عمليات النقل والشحن ، وقد ادى ذلك الى زيادة الطلب على المقطرات الخفيفة التى تستعمل فى محركات الاحتراق الداخلى ، خاصة الجازولين .

ولا تستطيع عمليات التجزئة والتقطير فى معامل التكرير ان توفر ما يكفى من الجازولين لمقابلة الاحتياجات المتزايده منه عاما بعد عام ، وذلك لأن اجود اصناف البترول لا ينتج من تقطيره ما يزيد على ٢٠ ـ ٢٥٪ من وزنه من الجازولين تحت افضل الظروف .

وقد سارعت شركات البترول الى ابتكار طرق جديدة للاكثار من الجازولين وزيادة الكميات المنتجة من المقطرات الخفيفة التى يتزايد عليها الطلب ، مثل طريقة التكسير الحرارى والتكسير فى وجود عامل مساعد وعمليات الاصلاح وغيرها .

وتتلخص عملية التكسير الحرارى فى تسخين بعض المقطرات الثقيلة التى لايكثر استعمالها ، عند درجة حرارة عالية وضغط مرتفع .

وتحت هذه الظروف القاسية من الضغط والحرارة ، تنكسر السلاسل

الطويلة التى تتكون منها جزيئات هذه المقطرات الى سلاسل اخرى اصغر منها ، ويؤدى ذلك الى خفض درجة غليان هذه المقطرات ، وبذلك تعطى عملية التكسير سوائل مشابهة للجازولين فى درجات غليانها وتخلط به لاستعمالها كوقود .

ولا تتم عملية التكسير بهذه البساطة ، فهى تؤدى عادة الى تكوين عدد من النواتج ، فتعطى مركبات صغيرة الجزيئات مثل الغازات ، كما تعطى بعض الجزيئات الكبيرة ، التى تظهر على هيئة مواد ثقيلة تشبه زيوت التشحيم ، كما تتكون فيها بعض البقايا المتفحمة ، وتتغير نسب هذه المواد تبعا لدرجة الحرارة والضغط التى تجرى عندها عملية التكسير .

ويستلزم الامر دائما اعادة تقطير الخليط الناتج وتجزئته للحصول على المقطرات الشبيهة بالجازولين .

ويتم الاستفادة من النواتج الثانوية لعملية التكسير فى اغلب الاحوال ، فيستخدم الجزء الغازى فى صنع بعض المنتجات الكيميائية الهامة وفى صنع بعض انواع اللدائن ، على حين تضاف الاجزاء الثقيلة الى زيت الوقود .

وهناك طريقة اخرى للتكسير تعرف باسم « **التكسير الحفزى** » وهى تشبه عملية التكسير السابقة ، ولكن يستعمل فيها عامل حافز يساعد على حدوث تفاعل التكسير فى درجة حرارة أقل ، وتحت ضغط يقل كذلك عن الظروف المستخدمة فى عملية التكسير الحرارى ، وبذلك تقل تكلفة هذه العملية وتتحسن انواع المواد الناتجة .

وقد استطاعت شركات البترول العالمية باستخدام طرق التكسير السابقة ان تنتج مزيدا من الجازولين الذى امكن اضافته الى الجازولين الناتج من التقطير العادى لزيت البترول ، وبذلك تمكنت من مجابهة الطلب المتزايد على هذا النوع من الوقود .

وعادة مايتكون الجازولين الناتج من عمليات التكسير ، من جزيئات متفرعة السلسلة ، وهذا النوع من الجازولين لايشتعل بسهولة عند ضغطه ، ولذلك تزداد صلاحيته للاستعمال فى محركات السيارات ، ويعتبر رقمه الاوكتينى مرتفعا عن غيره من انواع الجازولين الاخرى .

عمليات الاصلاح : "Reforming"

اكتشفت طرق اصلاح الجازولين بعد الحرب العالمية الثانية بقليل ، وعادة

ماتستخدم قطفة النافثا فى هذه العملية ، وهى القطفة التى تزيد درجة غليانها قليلا على درجة غليان الجازولين .

وتتعدد طرق اصلاح الجازولين ، وابسط هذه الطرق تتضمن تسخين النافثا فى وجود عامل حافز من فلز البلاتين ، عند درجات حرارة تقل كثيرا عن درجات الحرارة المستخدمة فى عمليات التكسير .

ولايحدث فى هذه العملية تكسير للجزيئات ، ولكن يحدث بها تغير طفيف فى تركيبها ، فسلاسل الهدروكربونات التى تتكون منها جزيئات النافثا تكون أطول قليلا من السلاسل الكربونية التى تتكون منها جزيئات هدروكربونات الجازولين ، ولذلك فان التغيير هنا لايتعدى فقد بضع ذرات من الكربون من سلاسل النافثا .

كذلك تفقد بعض هذه السلاسل الكربونية بعضا من ذرات الهدروجين المتصلة بها ، وقد تتحول الى سلاسل جديدة متفرعة او الى نافثيات حلقية ، ولذلك ينتج من عمليات الاصلاح مقطرات ذات رقم اوكتينى مرتفع وتستعمل كاضافات الى الجازولين العادى المحضر بطريقة التقطير التجزيئى لرفع رقمه الاوكتينى وتحسين صفاته .

ويتضح من ذلك ان هذه العملية لاتتضمن تكسيرا للجزيئات ، ولكن يقال انه قد اصلح تركيبها فقط ، ولذلك سميت هذه العمليات بعمليات الاصلاح ، وقد يستعمل فيها الهدروجين أو بعض العوامل الحافزة .

الرقم الأوكتينى وخاصية الدق

اهم استخدام للجازولين هو استخدامه وقودا فى محركات الاحتراق الداخلى ذات الاشعال بالشرارة ، كما فى محركات السيارات .

ويخلط الجازولين مع الهواء فى محركات السيارات ، ثم يضغط هذا الخليط بمكبس المحرك داخل الاسطوانه ، وعندما يصل المكبس الى نهاية مشواره ، تمر فى هذا الخليط شرارة كهربائية من شمعة الاشعال (البوجية) ، فيشتعل الوقود فى موجة منتظمة ، وتضغط الغازات الناتجة من الاحتراق وهى ثانى اكسيد الكربون وبخار الماء على سطح المكبس وتدفعه الى اسفل . وتتحول هذه الحركة الترددية إلى حركة دائرية عن طريق ذراع التوصيل والمرفق . ويمكن لهذه الحركة الدائرية دفع السيارة .

ويعرف هذا النوع من الاشتعال الذى يشتعل فيه الوقود فى موجة منتظمة ،

بالاشتعال المنتظم ، وهو يؤدى الى سلاسة حركة محرك السيارة .

وهناك نوع من الهدروكربونات لايتحمل الضغط ، فعندما تخلط هذه الهدروكربونات بالهواء وتضغط ، ترتفع درجة حرارتها وتشتعل ذاتيا قبل ان تمر بها الشرارة الكهربائية من شمعة الاشعال .

وتعرف هذه الحالة التى يشتعل فيها الوقود المضغوط ذاتيا ، قبل مرور الشرارة الكهربائية بالاشتعال المبكر ، وذلك لان الاشتعال يحدث قبل وصول المكبس الى نهاية مشواره وقبل الوصول الى اعلى ضغط ممكن .

ولاتكون موجة الاشتعال منتظمة فى هذه الحالة ، لان الاشتعال يبدأ هنا من اماكن متعددة فى الخليط على شكل انفجارات صغيرة ، مما يؤدى الى صدور ذلك الصوت المعدنى الذى يشبه الدق على سطح المعدن ، والذى نصفه عادة بقولنا « **العربية بتسقف** » ! .

وينتج هذا النوع من الاشتعال عادة عند استعمال انواع الوقود التى تحتوى على نسبة عالية من الهدروكربونات مستقيمة السلسلة ، وهى تؤدى الى نقص كبير فى قدرة المحرك .

وللاستفادة الكاملة من الوقود المستخدم ، وكى نحصل على الطاقة القصوى للمحرك ، يجب استعمال نوع من الوقود الذى يحتوى على نسبة عالية من الهدروكربونات الحلقية المشبعة او الهدروكربونات متفرعة السلسلة او بعض الهدروكربونات الاروماتية ، وهى انواع تتحمل الانضغاط بصورة جيدة ، ولا تشتعل الا بعد مرور الشرارة الكهربائية فيها .

ويقاس الدق الناتج من الوقود بمقارنته بمركب هدروكربونى متفرع السلسلة يعرف باسم « **ايسو اوكتان** » ، وهو لايحدث دقا عند استعماله وقوداً فى المحركات ، ولذلك يعتبر دقه مساويا للصفر .

ويخلط مركب الايسو اوكتان بمركب آخر مستقيم السلسلة يسمى « **الهبتان العادى** » ، ويحدث هذا المركب الاخير دقا عاليا عند احراقه فى المحركات ، أى أنه يشتعل وحده بمجرد ضغطه ، ولذلك يقال ان دقه يساوى ١٠٠ .

ويقارن دق الوقود المراد اختباره ، بدق خليط من هذين المركبين ، فاذا كان دقه مساويا لدق خليط يحتوى على ٨٠ ٪ (حجما) من ايسو اوكتان ، قيل ان رقمه الاوكتينى ٨٠ ، وتزداد صلاحية الوقود للاستخدام كوقود فى المحركات بازدياد رقمه الاوكتينى ، واذا قيل ان الرقم الاوكتينى للوقود ١٠٠ ، فمعنى ذلك انه لايحدث دقا فى المحركات .

وعادة ماتكون انواع الجازولين التى تنتج مباشرة من عملية التقطير التجزيئى للبترول غير صالحة للاستخدام وقودا فى المحركات الحديثة ، وذلك لانها تكون ذات دق عال ، ورقمها الاوكتينى منخفض الى حد كبير ولايزيد على ٥٠ ـ ٦٥ ، ولذلك فهى لاتتحمل الضغط العالى داخل المحركات ، ولذلك يضاف اليها عادة انواع اخرى من الجازولين جيدة الخواص ، مثل الجازولين الناتج من عمليات التكسير او عمليات الاصلاح ، او تضاف اليها بعض المواد الاخرى مثل رابع اثيل الرصاص لرفع رقمها الاوكتينى .

أنواع أخرى محسنة من الجازولين

تستخدم بعض العمليات الكيميائية المعروفة فى انتاج انواع محسنة من الجازولين ، وتساعد هذه الطرق على رفع نسبة الجازولين المنتج من زيت البترول ، كما تؤدى الى الاستفادة من بعض النواتج الثانوية التى لم تكن تعرف لها فائدة من قبل .

ومن أمثلة هذه الطرق ، طريقة « **الاسمرة** » "Isomerization" وهى طريقة يعاد فيها ترتيب ذرات الكربون والهدروجين فى سلاسل الهدروكربونات ، فتتحول جزيئاتها من سلاسل مستقيمة الى سلاسل متفرعة ذات رقم اوكتينى مرتفع .

وهناك كذلك طريقة « **الهدرجة** » "Hydrogenation" وهى تتلخص فى معالجة بعض المركبات غير المشبعة بغاز الهدروجين تحت بعض الظروف المناسبة ، وعندما تتحد هذه الهدروكربونات غير المشبعة مع ذرات الهدروجين تتحول الى مركبات مشبعة تساعد على تحسين صفات الجازولين .

وتستخدم كذلك طريقة « **الالكلة** » "Alkylation" ، وتستعمل فى هذه الطريقة الغازات الناتجة من عمليات التكسير ، وهى تتفاعل مع بعض الهدروكربونات فى وجود بعض العوامل المساعدة لتعطى جزيئات جديدة متفرعة تضاف الى الجازولين .

وهناك طريقة اخرى تعرف بطريقة « **البلمرة** » "Polymerization" وتتحد فيها معا بعض الجزيئات الصغيرة المتشابهة لتكوين جزيئات اكبر منها ، وهى تعتبر عكس عملية التكسير ، ففى عملية التكسير يتم تكسير السلاسل الطويلة الى سلاسل اصغر منها ، بينما هنا تتحد السلاسل القصيرة لتكوين سلاسل اكبر منها .

ومن الملاحظ ان هذه الطرق السابقة اما ان تؤدى الى تكوين مقطرات مشابهة للجازولين ، واما أن تعطى مقطرات يمكن اضافتها للجازولين لتحسين صفاته ورفع رقمه الاوكتينى .

تنقية المقطرات

تعتبر عملية تنقية مقطرات البترول عملية اساسية فى معامل تكرير البترول .

واهم الشوائب التى يجب التخلص منها ، ويتحتم فصلها من مختلف مقطرات البترول قبل استعمالها ، هى المركبات غير المشبعة والمركبات الاروماتية ، وكذلك مركبات الكبريت .

وتتم ازالة المركبات غير المشبعة والمركبات الاروماتية من الكيروسين ومن بعض زيوت التشحيم برجها مع حمض الكبريتيك المركز بواسطة الهواء المضغوط ، او برجها فى الطريقة المعروفة باسم « **طريقة اديليانو** » "Edeleanu" مع ثانى اكسيد الكبريت المسال تحت الضغط ، وهى طريقة تنسب الى مبتكرها وهو كيميائى رومانى وقام باستخدامها عام ١٩٠٧ .

وتذوب كل من المركبات غير المشبعة والمركبات الاروماتية فى حمض الكبريتيك المركز أو فى ثانى اكسيد الكبريت المسال ، وتكون طبقة منفصلة يمكن فصلها بسهولة عن الزيت الهدروكربونى الذى يغسل بالماء بعد ذلك ويعاد تقطيره ليصبح خاليا من الشوائب الضارة وصالحا للاستعمال .

أما شوائب الكبريت ، فهى عادة ماتوجد بمقطرات البترول على هيئة مركبات عضوية تعرف باسم « **المركبتان** » ، وتزال هذه المركبات عادة ببعض المواد الكيميائية مثل **هدروكسيد الصوديوم** ، **اوبلمبيت الصوديوم** ، **اوكلوريد النحاس** ، وتعرف هذه العملية باسم « **التحلية** » "Sweetening" .

والسبب فى ضرورة ازالة مثل هذه الشوائب من مقطرات البترول قبل استخدامها ، هو انها تسبب كثيرا من الضرر للآلات والمعدات التى تستخدم فيها هذه المقطرات .

ومثال ذلك ان المركبات غير المشبعة ان تركت فى الجازولين ، فهى ستتحول عند احتراقه فى محركات الاحتراق الداخلى مثل محركات السيارات ، الى مواد صمغية شديدة اللزوجة ، تتسبب فى سد بعض مسالك الكاربوراتير الضيقة مما يفسد العمل المنتظم للمحرك وقد يوقفه عن العمل .

كذلك فان المواد او المركبات الكبريتية عند احتراقها مع الوقود ، فهى تتحول الى اكاسيد الكبريت سهلة الذوبان فى الماء ، وهى تكون مع بخار الماء الناتج من الاحتراق ، احماضا مثل حمض الكبريتيك الذى يسبب تآكل المحرك وتلفه .

ولهذه الاسباب السابقة كانت هناك مواصفات دولية تحدد نسبة مثل هذه المواد فى مختلف انواع الوقود ، وهى مواصفات يجب التقيد بها تماما فى انتاج مختلف انواع الوقود حتى تصبح صالحة للاستعمال .

وهناك كذلك مواصفات اخرى خاصة بزيوت التشحيم ، فهذه الزيوت تتعرض لدرجات حرارة عالية عند استخدامها ، ولذلك تزال منها كل الشوائب التى يمكن ان تتأكسد تحت هذه الظروف ، فتزال منها المواد الاسفلتية بواسطة غاز **البروبان المسال** ، وهو غاز ينتج من خام البترول ، كما تزال منها الشموع بواسطة بعض المذيبات الاخرى مثل « **الفرفورال** » او « **مثيل اثيل كيتون** » وهى مذيبات جيدة للشموع ويتكرر استخدامها فى معامل التكرير .

أهم نواتج تقطير البترول

يعتبر زيت البترول من اهم مصادر المواد الخام التى تستعمل فى كثير من الصناعات الكيميائية ، مثل صناعة الاصباغ وصناعة الادوية وصناعة اللدائن وغيرها ، وتصنع هذه المواد اما من مقطرات البترول العادية واما من بعض الغازات التى تنفصل منه فى اثناء عمليات تجزئته ، أو فى أثناء عمليات التكسير وغيرها من العمليات .

وفيما يلى بعض النواتج الرئيسية التى يمكن الحصول عليها فى اغلب عمليات تكرير البترول .

الجازولين

الجازولين هو الاسم المستعمل حاليا لبنزين السيارات ، وهو يعتبر من أهم نواتج تقطير زيت البترول ، فهو يستعمل وقودا فى محركات الاحتراق الداخلى ، ويزداد الطلب عليه فى كل مكان نظرا لانتشار استخدام السيارات فى عمليات النقل وفى المواصلات .

ويمثل الجازولين نحو ٤٠ ـ ٤٥٪ من زيت البترول المستخدم اليوم ، وهو

ينتج اما بالتقطير المباشر للبترول الخام واما عن طريق بعض العمليات الاخرى غير المباشرة مثل عمليات التكسير والبلمرة وغيرها .

ويتكون الجازولين من خليط من عدة هدروكربونات ، تتكون جزيئاتها من سلاسل قصيرة من الكربون ، ويتراوح عدد ذرات الكربون فى كل سلسلة من خمس ذرات الى تسع أو عشر ذرات ، ولا تزيد درجة غليانه فى اغلب الحالات على ١٠٠°م .

ويستهلك ٩٠٪ من الجازولين المنتج على المستوى العالمى ، فى ادارة محركات السيارات والشاحنات ، بينما يستهلك القدر الباقى وهو لايزيد على ١٠٪ فى ادارة محركات الطائرات والجرارات وغيرها من الآلات .

الكيروسين :

يمثل الكيروسين القطفة التالية التى تفصل بعد الجازولين فى عملية التقطير التجزيئى .

وحتى عام ١٩٠٩ ، كان الكيروسين يمثل نحو ٣٣٪ من مجموع مقطرات البترول ، وكان يستخدم فى عمليات الاضاءة قبل استخدام الكهرباء ، ثم تناقصت الكميات المستخدمة منه تدريجيا حتى وصلت اليوم الى نحو ٣٪ فقط واصبح يستخدم فى بعض المجالات الضيقة مثل عمليات التسخين او الطهو فى المنازل فى بعض الدول ، كما استعمل وقودا فى الطائرات النفاثة ، وتم استخدام جزء كبير منه فى عمليات الاصلاح ، واكثار الجازولين .

زيت الديزل :

يطلق هذا الاسم على بعض المقطرات التى تزيد درجة غليانها قليلا على الكيروسين ، وتستخدم هذه المقطرات فى ادارة محركات الديزل المستخدمة فى الشاحنات وفى السفن وفى القاطرات ، وكذلك فى بعض محطات الكهرباء .

وقد ازداد الطلب حديثا على زيت الديزل ، وتبلغ الكميات المنتجة حاليا من زيت الديزل مئات الملايين من البراميل كل عام .

زيت الوقود الخفيف :

يستخدم هذا الزيت فى عمليات التسخين وفى الافران فى بعض الصناعات ، وهو يعتبر احد المنتجات الهامة لصناعة البترول .

زيت الوقود الثقيل :

يعرف احيانا باسم المازوت ، وهو زيت ثقيل يستعمل فى عمليات التسخين وفى الافران فى بعض الصناعات ، كما يستخدم كوقود لمراجل بعض السفن . ويعتبر زيت الوقود من ارخص منتجات البترول ، ولذلك يستعمل كثيرا كوقود لمراجل محطات القوى لتوليد الكهرباء .

زيوت التشحيم :

تمثل هذه الزيوت نسبة صغيرة من منتجات البترول ، وتتصف هذه الزيوت بقدرتها العالية على الاحتمال ، وبمقاومتها للتأكسد ، وهى تستعمل فى تشحيم الاجزاء المتحركة فى الآلات .

وهذه الزيوت متعددة الانواع ، فمنها مايستخدم فى تشحيم آلات النسيج ، ومنها مايستخدم فى تشحيم آلات البخار ، ومنها انواع خاصة تستخدم فى تشحيم الآلات المستعملة فى صنع المواد الغذائية الى غير ذلك من الانواع ، ولكل نوع من هذه الانواع مواصفاته الخاصة .

الشحوم :

تختلف هذه المواد عن زيوت التشحيم ، فهى مواد شبه جامدة فى درجات الحرارة العادية ، ومن امثلتها الفازلين .

وتستخدم هذه الشحوم فى تشحيم المحاور ، وأجزاء الآلات التى تدور بسرعة كبيرة وتتعرض لدرجات حرارة عالية ، والتى لاتصلح لها زيوت التشحيم ، وذلك لان الشحوم تتصف بثباتها الكيميائى ومقاومتها لظروف التشغيل القاسية .

الشموع :

تعرف أنواع الشمع التى تفصل من البترول **بشمع البرافين** ، وهى تفصل عادة من زيوت التشحيم بتبريدها إلى درجة حرارة منخفضة وتترك فترة حتى يتجمد ما بها من شمع . وتستعمل هذه الشموع فى كثير من الأغراض ، فقد تستخدم فى صنع بعض قوالب الصب ، أو فى صنع بعض الورنيشات ، أو شموع الاضاءة ، كما تستعمل أيضا فى صنع أنواع من الورق الصامد للماء الذى يستخدم فى تعبئة اللبن وفى تغليف الخبز إلى غير ذلك من الأغراض .

الاسفلت :

الاسفلت هو عبارة عن الجزء الثقيل الذى يتخلف من عمليات تقطير البترول الخام ، وهو يستخدم أساسا فى رصف الطرق وفى عزل الاسقف والجدران عن مصادر الرطوبة .

كوك البترول :

ينتج كوك البترول من عمليات التكسير والتقطير الاتلافى وفى بعض الأحيان من عمليات تفحيم المازوت . ويستخدم كوك البترول مصدرا للحرارة فى عمليات التسخين فى الصناعة كما يستخدم عامل اختزال فى بعض الصناعات الفلزية ، وفى صنع كربيد الكالسيوم الذى يحضر منه غاز الاسيتيلين ، وفى غير ذلك من الاغراض .

السناج :

السناج عبارة عن دقائق متناهية فى الصغر من الكربون ، وهو يحضر بحرق بعض غازات البترول حرقا غير كامل ، أى فى وجود قدر غير كاف من الاكسجين ، كما يحضر جزء كبير من هذا السناج من عمليات التكسير .

ويستعمل السناج فى صنع احبار الطباعة وبعض أنواع الطلاء ، كما يستخدم فى صنع اطارات السيارات وفى بعض الاغراض الاخرى .

الغازات :

يتصاعد كثير من الغازات فى أثناء عمليات تكرير زيت البترول ، خاصة فى عمليات التكسير والاصلاح .

ويتنوع تركيب هذه الغازات ، فهى قد تحتوى على **الهدروجين والميثان والبروبان والبيوتان** وهى هدروكربونات مشبعة ، كما قد تحتوى كذلك على قدر صغير من بعض الغازات غير المشبعة مثل الاثيلين والبروبيلين والبيوتيلين .

ويتم عادة فصل الغازات غير المشبعة من هذا الخليط ، وهى تستخدم فى صنع أنواع متعددة من المواد الكيميائية التى تحتاجها الصناعات الكيميائية المختلفة .

أما الغازات البرافينية المشبعة مثل **البروبان والبيوتان** ، فيتم إسالتها وتعبئتها لاستخدامها وقودا فى المنازل تحت اسم البروجاز والبوتاجاز ، كما يتم إضافتها أحيانا إلى غاز الفحم لزيادة قيمته الحراريه .

أما غاز الهدروجين ، فبعد أن يتم فصله ، يعاد استعماله فى صناعة البترول فى عمليات التكرير والاصلاح .

الكيميائيات من البترول

يحضر من البترول عدد كبير من المركبات الكيميائية النافعة التى تستخدم بدورها فى تصنيع كثير من المواد الهامة التى يستعملها الانسان فى حياته اليومية .

ومن أمثلة هذه المواد الاثيلين والبروبيلين والبيوتيلين والايسوبيوتيلين ، والهكسان الحلقى والفينول والاسيتون والكحول الاثيلى والكحول الايسوبروبيلى وبعض المركبات غير العضوية مثل النشادر وفوق أكسيد الهدروجين .

وهناك مركبات اخرى يتم تصنيعها من مشتقات البترول مثل بعض المنظفات الصناعية وبعض أنواع المطاط الصناعى المحضر من البيوتادايين ومن الاستايرين .

وتحضر كذلك بعض أنواع الألياف الصناعية من مواد مخلقة من البترول مثل : ألياف النايلون والأور لون والداكرون والاكريلان ، كما تحضر بعض اللدائن من منتجات البترول ، مثل البولى اثيلين ، وبعض أنواع الأنابيب والجلد الصناعى وبعض أنواع الطلاء .

كذلك تستخدم بعض مشتقات البترول فى تحضير بعض أنواع ورنيشات الارضيات ومواد تلميع الاثاث ، وبعض المطهرات والشامبو وكريمات الوجه وبعض منتجات التجميل الأخرى ، بالاضافة إلى كثير من الادوية والاصباغ وما شابهها من مواد .

وتعرف هذه الصناعة بصناعة **البتروكيمائيات** «Petrochemicals» وهى توفر لنا حاليا عددا هائلا من المنتجات التى نستخدمها كل يوم فى المنزل ، وفى المصنع وفى الحقل .

توزيع منتجات البترول

لايتم توزيع منتجات البترول من معامل التكرير إلى المستهلكين مباشرة الا فى حالات نادرة ، ويتم توزيع هذه المنتجات عادة عن طريق وسطاء يتولون هذه المهمة .

وغالبا ما يكون هؤلاء الوسطاء على هيئة شركات توزيع ، تتلقى المنتجات البترولية بواسطة خطوط الانابيب أو بواسطة السفن والشاحنات ، ثم تقوم بتخزينها فى صهاريج خاصة بجوار المدن والمراكز الصناعية .

وعادة ما تمتلك مثل هذه الشركات عددا من وسائل النقل الحديثة المخصصة لنقل البترول مثل عربات الصهاريج والشاحنات التى تستخدمها فى توزيع المنتجات البترولية إلى محطات البنزين وإلى شركات النقل والمصانع ومحطات القوى وتوليد الكهرباء .

وتنتشر محطات البنزين التى تقوم بخدمة السيارات اليوم فى كل مكان ، فهى توجد فى وسط المدن كما توجد فى مداخل المناطق الصناعية والمناطق المزدحمة بالسكان ، وعلى طول الطرق السريعة .

وقد كانت هذه المحطات تدار قديما بواسطة الشركات المنتجة للبترول نفسها ، ولكن نظرا لازدياد أعداد هذه المحطات وزيادة اعداد العاملين بها ، فقد أصبحت هذه المحطات تمثل عبئا كبيرا على هذه الشركات ، ولذلك يوكل العمل اليوم فى هذه المحطات ، إلى افراد أو شركات خاصة تستطيع إدارتها بكفاءه عالية .

الانتاج العالمى للبترول

كانت الولايات المتحدة تعتبر من أهم الدول المنتجة لزيت البترول فى نهاية القرن الماضى ، وقد استطاعت أن تنتج ما يكفيها من البترول خلال قرن من الزمان .

ولم يستمر ذلك طويلا ، ففى عام ١٩٤٨ بدأت الولايات المتحدة تشعر بحاجتها إلى مزيد من البترول لادارة صناعاتها المختلفة ، وبدأت فى استيراد بعض حاجتها منه من الدول الاخرى ، مثل فنزويلا ودول الشرق الاوسط .

وقد كان الحظر على البترول العربى عام ١٩٧٣ ، دافعا للولايات المتحدة على إنتاج مزيد من البترول المحلى الموجود بها ، وتم تشغيل خط أنابيب الاسكا عام ١٩٧٧ واستخدم فى نقل نحو ١,٢ مليون برميل من البترول فى اليوم .

ويعتبر الاتحاد السوفيتى من أكبر الدول المنتجة للبترول اليوم ، تليه السعودية ثم الولايات المتحدة والمكسيك وفنزويلا والصين وبريطانيا واندونيسيا .

وتمتلك دول الشرق الأوسط أكبر مخزون للبترول فى أراضيها ، ويقدر هذا المخزون بنحو ٥٥ ـ ٦٠٪ من البترول الموجود على مستوى العالم ، بينما يمثل المخزون منه فى الولايات المتحدة وأمريكا الشمالية بنحو ١٤٪ ، وفى أوربا الشرقية والاتحاد السوفيتى نحو ١٠٪ ، وفى افريقيا ٨٪ وفى أسيا ٦٪ .

وليس من المتوقع أن يتجدد هذا المخزون من البترول فى حياة الانسان ، وحتى لو كانت عمليات تكوين زيت البترول من بقايا الكائنات الحية مازالت قائمة حتى الآن ، فهى عمليات تتصف بالبطء الشديد ، ولا تتناسب أبدا مع السرعة الهائلة التى يستهلك بها الانسان مالديه من بترول ، ولهذا فقد سميت مصادر البترول ، ومعها الفحم والغاز الطبيعى ، بأنها مصادر غير متجددة للطاقة .

ومن المتوقع أن يزداد الانتاج العالمى للبترول ليواكب التقدم العلمى والتكنولوجى المتوقع خلال السنوات القادمة ، إذا تم اكتشاف مكامن جديدة للبترول أو إذا أمكن استغلال الطفل البتيومينى والرمال القارية المحتوية على الزيت بطريقة اقتصادية .

استخراج الزيت المستعصى

عندما يصل حجم البترول المستخرج من البئر إلى أقل قدر ممكن ، أى عندما يصبح ما يستخرج منها من زيت ، كافيا بالكاد لتغطية نفقات هذه البئر ، تعتبر هذه البئر « بئرا حدية » .

وعادة ما يحدث هذا عندما تنتج البئر أقل من عشرة براميل من الزيت فى اليوم ، ولو أن هناك بعض الآبار التى تنتج أقل من ذلك بكثير ، فقد يصل انتاج بعض هذه الابار إلى نحو ⅓ برميل يوميا .

ولا يدل عادة هذا الانتاج الضئيل على أن ما بالبئر من بترول قد استنفد نهائيا ، فبعض هذه الآبار ضئيلة الانتاج قد تحتوى فى أعماقها على عدة ملايين من براميل البترول ، ولكن يصعب استخراج هذا الكم الهائل من الزيت من باطنها بالطرق البسيطة المعروفة .

ويطلق على هذا الزيت الذى يصعب استخراجه من باطن الارض بالطرق المعتادة ، اسم **الزيت المستعصى** .

ولايمكن عادة استخراج كل ما بمكمن الزيت من بترول ، فقد يمكن استخراج نحو ٤٠٪ من هذا الزيت ، ولكن الجزء الأكبر منه الذى قد يصل إلى ٦٠٪ مما بالمكمن من زيت قد يتبقى فى باطن الأرض ويستعصى استخراجه .

وتدل تقديرات شركات البترول فى الولايات المتحدة انه قد تم استخراج نحو ١٠٠ مليار برميل من الزيت من مختلف مكامنه فى أراضى الولايات المتحدة ، على حين يتبقى فى هذه المكامن جزء كبير من الزيت يصل إلى نحو ٤٠٠ مليار برميل .

ويرجع السبب فى عدم استطاعتنا استخراج كل هذا القدر الكبير من البترول من باطن الارض ، إلى التصاق البترول بالتكوينات الصخرية المسامية التى يوجد فيها ، ويشبه ذلك كل الشبه ما يحدث للماء الذى تتشبع به مسام قطعة من الاسفنج ، فلا يمكن الحصول على هذا الماء الا بالضغط على قطعة الاسفنج .

ويتصاعد زيت البترول من الآبار فى أغلب الحالات تحت الضغط الطبيعى للمكمن ، وعندما يقل هذا الضغط ، ولاتعود المضخات تستخرج شيئا ، يصبح استخراج البترول من البئر بالغ الصعوبة وباهظ التكاليف ، ولهذا تهمل مثل هذه الآبار لانها لايمكن استغلالها بطريقة اقتصادية .

وبعد أن ارتفعت أسعار البترول فى السوق العالمية ، أصبح استخراج هذا البترول أكثر جاذبية ، ولذلك فقد ابتكرت عدة طرق حديثة لاستخراج هذا الزيت

المستعصى عنوة من باطن الارض ، إما بدفع البخار وإما باستخدام المذيبات أو حتى بحرق جزء منه بالنار لانتزاعه من الصخر انتزاعا .

وأول مالفت الانظار إلى طرق استخراج الزيت المستعصى هو ما حدث لاحد حقول البترول بالولايات المتحدة ، وهو حقل برادفورد الذى يعتبر من أقدم حقول البترول فى العالم .

وقد بلغ انتاج هذا الحقل ذروته عام ١٨٧٨ ، حيث استخرج منه ٢٣ مليون برميل من البترول ، ولكن بدأ إنتاج الحقل ينخفض تدريجيا بمرور الزمن حتى وصل انتاجه إلى نحو ١٠٪ من انتاجه السابق عام ١٩٠٥ ، ثم تم التخلى عنه بعد ذلك ، واعتبرت آبار هذا الحقل آبارا جافة .

وقد حدث بعد ذلك أن غمرت المياه بعض الآبار المهجورة فى هذا الحقل ، فحدث شىء غير متوقع ، اذ نشطت هذه الآبار فجأة وأصبحت آبارا منتجة ، فقد دفع الماء الزيت إلى خارج الآبار بعد أن حل محله فى مسام الصخور .

وقد فطن الناس إلى صلاحية هذه الطريقة فى استخراج الزيت المستعصى ، وبدأوا فى استعمالها فى الآبار المهجورة ، ولكنهم كانوا يسكبون الماء ببساطة فى البئر ، ثم تطورت الطريقة بعد ذلك فحفرت آبار خاصة فى الحقل يحقن فيها الماء تحت ضغط ليدفع الزيت الى سطح الارض من آبار اخرى تحيط بهذه الآبار .

وقد استخدمت هذه الطريقة فى حقل برادفورد بعد ذلك وارتفع انتاجه عام ١٩٣٧ إلى نحو ١٧ مليون برميل من البترول .

وتستعمل طريقة الغمر المائى اليوم فى ٩٠٪ من حقول البترول فى الولايات المتحدة ، كما استخدمت فى بعض البلاد الاخرى بنجاح .

وعلى الرغم من نجاح هذه الطريقة فى استخراج الزيت المستعصى فى كثير من الحالات ، إلا أنها لم تعد كافية لاستخراج كل ما بالآبار من زيت ، خاصة اذا كان هذا الزيت لزجا وكثيفا وشديد الالتصاق بمسام الصخور .

وقد عدلت هذه الطريقة بعد ذلك ، فاستخدم البخار فوق الساخن ، أى المسخن لدرجة ٥٠٠ مئوية ، ونجحت هذه الطريقة فى كثير من الحالات ، وأدى حقن البخار فى الآبار إلى دفع البترول إلى سطح الأرض ، خاصة فى الحالات التى يكون فيها الزيت غليظ القوام ويحتاج إلى حرارة عالية لجعله اكثر سيولة .

ولكن هذه الطريقة لم تكن الحل الكامل لكل مشاكل استخراج هذا الزيت المستعصى ، وذلك لان باطن الارض متغير الخواص ، فقد يحتوى على صخور غير

مسامية تعمل كحواجز وتمنع انتشار البخار الساخن فى الطبقات المحتوية على الزيت .

كذلك فان هذه الطريقة مرتفعة التكاليف ، فلابد من توفير طاقة كبيرة لتسخين البخار ورفع درجة حرارته إلى ٥٠٠°م ، حتى أنه يقال أنه من كل أربعة براميل من الزيت تستخرج بهذه الطريقة ، يتم إحراق برميل منها لتسخين هذا البخار .

وقد استخدمت بعد ذلك طريقة أكثر فعالية تتضمن توليد الحرارة فى مكمن البترول بطريقة مباشرة ، وذلك بضخ الهواء فى المكمن واشعال النار فى الزيت ، وبذلك تندفع الغازات الساخنة الناتجه من الاحتراق حاملة معها معظم ما بالمكمن من زيت إلى بئر الانتاج .

وهذه الطريقة اقتصادية إلى حد كبير ، إذ لايزيد ما يتم حرقه من الزيت عن ١٠ ـ ١٥٪ فقط ، وعلى الرغم من انتشارها واستعمالها فى استخراج الزيت المستعصى فى كثير من حقول البترول ، إلا أن لها مشاكلها كذلك ، فهناك احتمالات متعددة ، منها حدوث تآكل فى بعض الصخور ، وحدوث بعض الانهيارات وغيرها ، ولذلك تم التحول إلى طرق اخرى أبسط منها .

وتستخدم إحدى الطرق الحديثة حقن الغاز الطبيعى فى ابار البترول تحت ضغط مرتفع . ويمتزج هذا الغاز بزيت المكمن ويذيبه فيجعله أكثر سيوله ويدفعه إلى بئر الانتاج .

ونظرا لارتفاع سعر الغاز الطبيعى فى السنوات الاخيرة ، فقد تم تطوير هذه الطريقة ، فبدلا من حقن الغاز الطبيعى فى الآبار يحرق الغاز الطبيعى اولا ثم تدفع الغازات الناتجة من الاحتراق فى مكمن الزيت .

ويستخدم فى هذه الطريقة المطورة قدرا أقل من الغاز الطبيعى لأن كل متر مكعب من الغاز الطبيعى يعطى أربعة أمتار مكعبة من غازات الاحتراق .

ويشترط لنجاح هذه الطريقة أن يكون التركيب الكيميائى للزيت مناسبا كى يتم ذوبانه أو ذوبان الغازات فيه ، كما أن الأمر يتطلب أن تكون الصخور المحتوية فى مسامها على الزيت ، منتظمة المسام ، والا فشل الغاز فى دفع الزيت إلى سطح الارض .

وقد استخدم غاز ثانى أكسيد الكربون فى بعض الحالات لدفع الزيت المستعصى إلى سطح الأرض ، ولكن قد لايتيسر وجود هذا الغاز بجوار آبار البترول ، إلا إذا

وجد حقل طبيعى لهذا الغاز بجوار حقل البترول ، أو أمكن الحصول عليه من مداخن بعض المصانع القريبة ، والا فلا يمكن استخدامه .

وقد استخدمت كذلك طريقة حديثة يدفع فيها خليط من الماء والصابون او بعض المنظفات الصناعية فى مكمن الزيت ، ويستخدم هذا الخليط فى خفض التوتر السطحى للزيت ، وتكوين مستحلب من الزيت فى الماء يمكن دفعه بالماء بعد ذلك إلى سطح الأرض ، ولكن هذه الطريقة تعتمد فى صلاحيتها على التركيب الجيولوجى لمكمن الزيت ، فأى جرف من الصخر قد يوقف تيار المنظفات ، كما أن هذه المواد الكيميائية قد لا تدخل الجيوب الرئيسية للزيت وبذلك تقل فاعليتها .

ولاشك ان هذه الطرق المستحدثة لاستخراج الزيت المستعصى الذى لايمكن استخراجه من المكمن بالضخ ، ستساعد كثيرا على رفع انتاج كثير من حقول البترول فى كل مكان .

مصادر جديدة للبترول

يتزايد الطلب على البترول على مستوى العالم يوما بعد يوم ، خاصة فى خلال الاعوام القليلة الماضية ، فقد بلغ استهلاك البترول خلال ١٩٨٠ ـ ١٩٨١ نحو ٣ مليارات طن .

وعلى الرغم من المحاولات الجادة التى تجرى فى كثير من الدول الصناعية للحد من استهلاك الطاقة ، وابتكار طرق لتوفيرها وتخزينها ، إلا أنه ثبت أن استهلاك البترول فى كل من قطاعى النقل والمواصلات وصناعة البتروكيميائيات لايمكن تعويضه بصور أخرى من الطاقة .

فقطاع النقل يستهلك نحو ٤٠٪ من استهلاك البترول فى الدول الصناعية ، ومن المتوقع ان يزداد هذا الاستهلاك ليصل إلى نحو ٦٥٪ عام ٢٠٠٠ .

وينطبق ذلك ايضا على كثير من الدول النامية التى تتطلب المشروعات الجديدة فيها وخطط التنمية الطموحة بها ، مزيدا من استهلاك الطاقة .

ومن المتوقع أن يصل استهلاك البترول على مستوى العالم إلى نحو ٣,٦ مليار طن يزداد إلى نحو ٤ ـ ٤,٥ مليار طن عام ٢٠٠٠ ، رغما عن كل المحاولات القائمة لخفض استهلاك الطاقة.

ويقدر المخزون العالمى من البترول حاليا بنحو ٣٥٠ مليار طن على الأكثر ، وهو يشمل كل ما يتوقع وجوده فى المكامن تحت سطح الأرض أو تحت المياه الشاطئية للبحار ، وإن كانت التقديرات الخاصة بالزيت المحتمل وجوده فى مياه البحار العميقة أو فى المناطق القطبية ، ليست دقيقة بدرجة كافية .

ومن المقدر أن كميات البترول التى تم اكتشافها واستغلالها على مستوى العالم حتى الآن لاتزيد على ٦٠ مليار طن ، وأن هناك نحو ٩٠ ـ ١٠٠ مليار طن أخرى مخزونة بصفة مؤكدة فى باطن الارض وتنتظر الاستغلال ، أما بقية المخزون العالمى فينتظر اكتشافه واستغلاله فى المستقبل .

وفى ديسمبر ١٩٨٠ أعلنت الوكالة السويدية للبترول فى تقرير لها باسم

« الاحتمالات البترولية وجيولوجيا رواسب بازينوف فى سيبريا الغربية »
« Petroleum Potential and Geology of The Bazhenov Deposits in West Siberia » إنه قد تم اكتشاف كميات هائلة من البترول المخزون فى باطن الارض فى سيبيريا تقدر بنحو ٦١٩ مليار طن .

وقد أثار هذا التقرير اهتمام الدوائر المهتمة بشئون البترول ، فهذا القدر الهائل من البترول يبلغ اكثر من ضعف المخزون العالمى من البترول ، وهو يقع على عمق قليل نسبيا من سطح الارض ، لايزيد على ٣٥٠٠ متر ويغطى مساحة قدرها نحو مليون كيلو متر مربع .

ولاشك أن وجود مثل هذا المخزون الهائل من البترول فى سيبيريا سيعزز استقلال الاتحاد السوفيتى تماما فى مجال الطاقة ، ويضمن له مصدرا من الطاقة لمدة طويلة جدا .

وعلى الرغم من هذا الاكتشاف الجديد فاننا لاننتظر أن يدخل هذا المخزون فى السوق العالمية للبترول فى القريب العاجل .

وهناك مصادر اخرى للبترول يمكن استغلالها مستقبلا مثل « **الطفل الزيتى** » « **Oil Shale** » أو **الرمال القارية** « **Tar Sands** » وهى مصادر غير مستغلة حاليا ولكنها يمكن أن تعطينا قدرا كبيرا من زيت البترول عند تقدم التكنولوجيا المتعلقة باستخدامها ، خاصة وأن انتاج البترول العالمى لاينتظر أن يزيد على ٣ ــ ٣,٥ مليار طن حتى عام ٢٠٠٠ ، وهو قدر يقل بنحو مليار إلى مليار ونصف طن عن القدر المطلوب فى ذلك الوقت .

وقد أدى هذا النقص المتوقع بين انتاج البترول واستهلاكه إلى تحول الأنظار نحو الطفل الزيتى والرمال القارية ، لعلها تعوض هذا النقص .

الطفل الزيتى :

يعرف هذا النوع من الطفل كذلك باسم « **الطفل البتيومينى** » وهو يحتوى على ما يعرف « **بالكيروجين** » « **Kerogen** » وهى مادة تشبه القار وتتركب من جزيئات عضوية كبيرة نتجت عند تعرض بقايا الحيوانات البحرية والطحالب للحرارة والضغط ، ويعطى هذا الطفل عند تسخينه بعض السوائل التى تشبه زيت البترول فى خواصه .

وقد عرف الطفل البتيومينى منذ زمن بعيد ، خاصة فى مناجم الفحم فى

ديربى شاير « Derbyshire » بانجلترا ، وقد قام رجل يدعى « جيمس يونج » « James Young » باجراء أولى التجارب على هذا النوع من الطفل وقام بتقطيره فى معزل عن الهواء وحصل منه على سوائل تقبل الاشتعال ، وقد ظن أن هذا الزيت من نواتج الفحم .

وفى عام ١٨٥٨ تم اكتشاف بعض رواسب جديدة من الطفل الزيتى فى بريطانيا بعيدا عن مناجم الفحم ، واقيمت لها مصانع خاصة لتقطيرها وبلغ أقصى إنتاج لهذه المصانع من الزيت عام ١٩١٣ قبل الحرب العالمية الاولى .

وتستخدم طريقة التقطير الاتلافى للحصول على الزيت من الطفل البتيوميني ، فيتم تكسير الطفل الى قطع صغيرة الحجم ، ثم يسخن بمعزل عن الهواء إلى درجة حرارة عالية ، فيتقطر منه سائل يشبه البترول ، كما ينتج منه قليل من الماء المحتوى على بعض المواد العضوية .

وتستخدم هذه الطريقة بشكل محدود فى بعض البلاد التى يتوفر بها هذا النوع من الطفل ، مثل اسكتلندا واستراليا .

وتوجد رواسب كبيرة من هذا الطفل فى بعض البلاد الاخرى مثل البرازيل والولايات المتحدة ، ومن المعتقد أن تقطير رواسب الطفل الزيتى الموجودة بالولايات المتحدة قد يعطى أكثر من ٢ بليون برميل من الزيت ، ولكن ذلك يقتضى جمع وتقطير كميات هائلة من هذا الطفل مما يجعل هذه العملية غير عملية وباهظة التكاليف .

ويعتبر الطفل ذا قيمة اقتصادية اذا أعطى من الزيت قدرا يفوق مقدار الزيت ، أو الغاز اللازم لتسخينه وتقطيره .

وتبلغ الطاقة اللازمة لتسخين الطفل وتقطيره عند ٥٠٠°م نحو ٢٥٠ كالوريا للجرام ، بينما تبلغ القيمة الحرارية للمادة العضوية التى يحتوى عليها الطفل ، وهى **الكيروجين** ، نحو ١٠,٠٠٠ كالورى للجرام ، وعلى هذا الاساس فان الطفل الذى يحتوى على ٢,٥٪ كيروجين يعتبر الحد الادنى من الطفل الصالح للاستخدام فى إنتاج الزيت .

ويجب عمليا ألا يستخدم فى التقطير الا أنواع الطفل التى تحتوى على ٨ ـ ١٠٪ من الكيروجين ، وهى تعطى فى هذه الحالة قدرا معقولا من الزيت ليصل إلى نحو ٤٠ ـ ٤٥ لترا لكل طن من الطفل .

والزيت الناتج من تقطير الطفل البتيوميني يختلف قليلاً عن زيت البترول

المعتاد ، فهذا الزيت يحتوى على نسبة أعلى من الكبريت ، كما يحتوى على قدر أكبر من المركبات النتروجينية ، وتصل نسبة النتروجين فيه إلى ٢٪ تقريبا بالمقارنة بالبترول الذى لا تزيد فيه نسبة النتروجين على ٠,١٪ .

كذلك يحتوى هذا الزيت على قدر أكبر من المركبات الاوليفنية غير المشبعة ، ويجب التخلص منها بالهدرجة أى بمعاملتها بالهدروجين ، ولكنه رغم كل ذلك يصلح وقودا مثل زيت البترول المعتاد .

ويعتبر التخلص من بقايا الطفل بعد تقطيره عبئا كبيرا على القائمين على مثل هذا المشروع ، فنسبة الزيت الناتجة من هذا الطفل لاتزيد فى المعتاد على ٥٠ كيلو جراما لكل طن من الطفل ، ويعنى ذلك أنه لانتاج ٥ مليون طن من الزيت يجب أن نتعامل مع ١٠٠ مليون طن من هذا الطفل ، ولاتوجد طريقة اقتصادية للتخلص من مثل هذا القدر الهائل من البقايا التى تتكون من السليكات والكربونات ، ولاشك أنها ستتسبب أضرارا هائلة للبيئة المحيطة بهذا المشروع .

كذلك يمثل استهلاك الماء فى عمليات التقطير صعوبة أخرى ، ففى بعض هذه الطرق يحتاج الأمر إلى استخدام أربعة أمتار مكعبة من الماء لكل متر مكعب من الزيت ، وهو حجم هائل من الماء لابد وأن يتوافر فى المنطقة التى تجرى بها عملية التقطير .

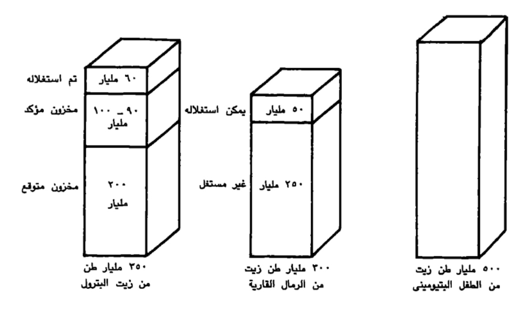
ويمكن التخلص من بعض هذه الصعوبات اذا تم استخراج الزيت من الطفل فى المناطق غير الآهلة بالسكان كما فى كولورادو فى الولايات المتحدة أو فى بارانا « **Parana** » بالبرازيل ، وقد اجريت بعض التجارب على هذا الطفل فى كولورادو ولكن هذه التجارب أوقفت تماما عام ١٩٨٢ .

وأكبر مناجم لهذا الطفل تقع فى « جرين ريفر » « Green River » بالولايات المتحدة ، وهناك بحوث تجرى لاستغلال الطفل البتيوميني فى موقعه تحت الارض كما فى طريقة تغويز الفحم .

الرمال القارية :

توجد الرمال القارية فى بعض المناطق بشرق فنزويلا وفى ولاية البرتا بكندا .

ويحتوى هذا النوع من الرمال على سوائل كثيفة تشبه القار ، وهى تختلف فى تركيبها عن البترول العادى ، فهى تحتوى على قدر أقل من الهدروكربونات



شكل ٢ ـ ٥ المخزون العالمى من البترول والرمال القارية والطفل البتيومينى

المشبعة وتحتوى على بعض المواد الاروماتية وبعض الراتنجات والمواد الاسفلتية المحتوية على الكبريت .

وتزداد نسبة المواد الراتنجية والاسفلتية فى الرمال القارية عنها فى البترول العادى ، فهى تتراوح بين ٢٥ ـ ٧٠٪ فى الرمال القارية بينما تتراوح فى زيت البترول بين صفر ـ ٢٠٪ على أكثر تقدير ، وهى تشبه القار فى قوامها ولذلك اطلق اسم الرمال القارية على هذه الرمال .

كذلك يزداد محتوى المواد المعدنية فى هذه الرمال ، فتبلغ نسبة النيكل فى الزيت الناتج منها نحو ١٥٠ جزءاً فى المليون ، والفناديوم نحو ١٢٠٠ جزء فى المليون ، كما تزداد به نسبة الكبريت والنتروجين .

وتوجد كميات هائلة من هذه الرمال القارية ، ومن المقدر أنه يمكن استخراج نحو ١٤٠ ـ ٢٠٠ مليون طن زيت من هذه الرمال الموجودة بكندا ، كما يمكن استخراج نحو ١٥٠ ـ ٣٠٠ مليون طن زيت من الرمال القارية بفنزويلا .

ويتم إستخراج الزيت من هذه الرمال حاليا بكندا ، فتعامل الرمال القارية بالماء الساخن ، أو بالبخار لفصل القار عن الرمال الذى يتم تقطيره بعد ذلك ، ويستخرج بهذه الطريقة نحو ٨ ملايين طن فى اليوم الواحد .

أما بالنسبة للمواد البتيومينية الأقل كثافة والمختلطة بالرمال فهى تستخرج بطرق مشابهة لاستخراج البترول من باطن الارض ، فتحفر لها الآبار ، ثم يدفع البخار فى هذه الآبار .

وعادة ما يستعمل البخار فوق الساخن حيث تبلغ درجة حرارته ٣٠٠°م ويدفع تحت ضغط عال ، فيدخل هذا البخار فى مسام الرمال ويرفع درجة حرارة المواد البتيومينية والقار ، فتقل كثافتها وتنساب بسهولة فى هذه المسام ويمكن عندئذ دفعها بالمضخات عن طريق آبار أخرى إلى سطح الارض .

وقد تم انتاج نحو ٢٠ مليون طن فى العام بهذا الاسلوب فى كل من كندا وفنزويلا .

وقد أقيم فى فرنسا مشروع تجريبى لاشعال الرمال القاريه تحت الارض . وتتلخص هذه الطريقة فى حقن الهواء عن طريق آبار خاصة ليصل إلى مكامن هذه الرمال ، وبذلك تتقدم جبهة مشتعلة خلال المنجم وتؤدى الحرارة الناتجة إلى تصاعد الهدروكربونات والمواد المتطايرة الاخرى خلال ابار أخرى إلى سطح الارض .

وتعترض عملية تقطير الرمال القارية عدة صعوبات ، اهمها أن الزيت الناتج يحتوى على قدر كبير من المواد الاسفلتية ذات الكثافة العالية ولهذا فان الأمر يقتضى تعديل نظام التكرير فى معامل تكرير البترول الخام لهذا الغرض او إقامة انظمة جديدة للتكرير كما حدث فى فرنسا بالقرب من ليون ، حيث أقيمت معامل تكرير خاصة للزيت الناتج من الرمال القارية تستطيع معالجة نحو ٢٠,٠٠٠ طن من هذا الزيت فى العام .

ولايجب الاستهانة بالطفل البتيومينى ، أو بالرمال القارية ، فرغم كل الصعوبات ، فهى تمثل مصدرا للزيت يبلغ اكثر من ضعفى زيت البترول المعتاد ، ومن المنتظر أن يتم استغلال هذه المصادر الجديدة بصورة اقتصادية فى أوائل القرن القادم .

الغاز الطبيعى

استخدم الانسان الغازات كمصدر من مصادر الطاقة منذ زمن ليس بالقصير ، خاصة تلك الغازات الناتجه من الفحم ، مثل غاز الفحم وغاز الماء .

وقد استخدم الانسان الغاز الطبيعى وقودا فى السنوات الاخيرة ، واعتمد عليه جزئيا فى بعض أعمال التدفئة والتسخين ، كما استعمله فى بعض الصناعات وفى توليد الكهرباء .

وقد عرف الانسان الغاز الطبيعى منذ زمن بعيد ، وربما كان ذلك فى عصور ما قبل التاريخ ، فكثيرا ما كان هذا الغاز يتصاعد فى الهواء من شقوق صغيرة فى سطح الأرض ، ولكنه لم يعرف قيمته وفوائده ، ولافكر فى استخدامه فى ذلك الحين .

ولابد أن انسان ذلك العصر كان يدهش كثيرا عند سماعه لصوت هذا الغاز عند اندفاعه من هذه الشقوق ، وهو صوت واضح وملحوظ يشبه الفحيح أو الصفير ، ولابد أنه كان يصاب بشىء من الخدر والدوار عند استنشاقه للهواء الممزوج بهذا الغاز .

وقد دفعت هذه الظواهر انسان ذلك الزمان إلى الظن بأنه فى حضرة قوة خارقة من قوى ماوراء الطبيعة ، فأقام المعابد حول مصادر هذا الغاز ، وقدم لها الهدايا والقرابين .

وبتقدم الزمن زادت معرفة الانسان ونمت خبراته فى كل مجال ، فعرف أن هذا الغاز المتصاعد من باطن الأرض يقبل الاشتعال ، ومن المحتمل أن اشتعال هذا الغاز قد حدث بطريق الصدفة وأثار الدهشة والذعر فى نفوس الناس ، وربما كانت نار المجوس نتيجة لاشتعال الغاز الطبيعى ، وهى النار التى ظلت مشتعلة لمدة طويله ، وعبدها الفرس ردحا من الزمان .

ويحدثنا التاريخ أن أهل الصين كانوا من أوائل من إستغل قابلية الغاز الطبيعى للاشتعال ، فاستعملوه وقودا منذ عام ٩٤٠ قبل الميلاد ، وتمكنوا من نقل

هذا الغاز فى أنابيب من البامبو من مصادره الارضية إلى شاطىء البحر ، وهناك أشعلوه واستخدموه فى تبخير ماء البحر للحصول على الملح .

وعلى الرغم من ذلك ، فقد بقى أغلب أهل ذلك العصر فى كثير من البلدان ، على جهل تام بخصائص هذا الغاز ، وكانوا ينظرون اليه على أنه أحد أعاجيب الطبيعة .

وجود الغاز الطبيعى واستخداماته

لاتوجد حاليا فكرة واضحة عن الكيفية التى نشأ بها هذا الغاز فى باطن الأرض .

ونظرا لوجود هذا الغاز ، فى أغلب الأحوال ، مصاحبا لزيت البترول ، فقد أصبح من المعتقد أن الغاز الطبيعى يمثل مرحلة من المراحل التى مرت بها بقايا الكائنات الحية فى أثناء تحولها إلى زيت البترول بتأثير الضغط المرتفع والحرارة العالية فى باطن الارض .

وقد اكتشفت حديثا مكامن منفصلة للغاز الطبيعى لا علاقة لها بمكامن البترول ، وقدمت نظرية اخرى ترجح أن هذا الغاز قد تكون فى الزمن القديم من اتحاد الهدروجين بالكربون ، ثم دفنت الهدروكربونات المتكونه فى باطن الارض ، وتحول جزء منها إلى بترول وتحول جزء اخر إلى غاز طبيعى تسرب إلى مكامن خاصة به .

وهناك نظرية أخرى تفترض أن الغاز الطبيعى الذى يتكون أغلبه من غاز الميثان ، يوجد على هيئة هدرات «hydrates» فى أعماق الأرض فى المناطق الباردة وتحت قيعان البحار .

وهدرات الغاز ماهى إلا تجمعات جزيئية منتظمة «clathrates» تترتب فيها جزيئات الماء على هيئة شكل ثلاثى الابعاد يشبه القفص «cage» تنتظم فى داخله جزيئات الغاز ، ولايحدث هذا الترتيب الا فى درجات الحرارة المنخفضة وتحت ضغط مناسب .

وقد عرفت هدرات الغاز منذ زمن بعيد يرجع الى عام ١٨١٠ عندما لاحظ عالم بريطانى يدعى « همفرى ديفى » «Humphrey Davy» أن غاز الكلور يكون هدرات صلبة مع الماء عند انخفاض درجة حرارة الغاز الرطب إلى ٩°م .

كذلك عرفت هذه الهدرات بالنسبة للغاز الطبيعى منذ عام ١٩٣٠ عندما

حدث انسداد فى أنابيب الغاز الطبيعى بالمناطق القطبية وفسرت هذه الظاهرة على أن الغاز الطبيعى غير تام الجفاف يكون هدرات صلبة مع الماء عند انخفاض درجة الحرارة تحت الصفر وتحت ضغط مناسب ، وأن هذه الهدرات الصلبة هى التى تسبب انسداد الأنابيب .

وقد أثبتت البحوث الحديثة أن ظاهرة تكون هدرات الغاز يتكرر حدوثها فى كل مكان طالما كانت درجة الحرارة منخفضة وكان الضغط مناسبا ، حتى إنه ثبت الآن أن مذنب هالى ما هو إلا هدرات صلبة من غاز ثانى أكسيد الكربون والماء .

كذلك تبين أن جزيئات الغازات الصغيرة مثل الميثان والايثان ، يمكن أن تتحول فى وجود جزيئات الماء عند درجة الحرارة المنخفضة والضغط العالى ، إلى هدرات صلبة يطلق عليها « **الطاقة المتجمدة** » .

وتدور حاليا عدة دراسات حول هدرات الغاز الطبيعى فى كل من الاتحاد السوفيتى واليابان والولايات المتحدة والنرويج والمانيا ، ويقدر المخزون من الغاز الطبيعى فى باطن الارض على هيئة هذه الهدرات الصلبة بنحو ١٠٠٠ تريليون متر مكعب ($١٠^{١٥}$ $م^{٣}$) ، ولو أمكن استغلال كل هذا القدر من الغاز المخزون ، لقضى ذلك تماما على ما نتوقعه من نقص للطاقة فى مستهل القرن القادم .

وقد بينت الدراسات أن هدرات الغاز الطبيعى توجد فى الأماكن التى تتشبع فيها الصخور بالماء وبالغاز ، تحت ظروف خاصة .

وتتوزع المناطق التى يكون فيها كل من الضغط ودرجة الحرارة مناسبين لتكون الهدرات على مساحة شاسعة من سطح الارض ، وهى تغطى على وجه التقريب نحو ٢٥٪ من سطح القارات ، ونحو ٩٠٪ من المحيطات ، وأهم مناطق هدرات الغاز المعروفة اليوم تقع فى سيبيريا الشرقية بالاتحاد السوفيتى وحول شواطىء الاسكا الشمالية وكذلك أمام ساحل كاليفورنيا بالولايات المتحدة .

وتوجد هدرات الغاز الصلبة فى سيبيريا على هيئة طبقة سمكها نحو ٨٤ مترا ، ودرجة حرارتها نحو ١٠° مئوية ، ويوجد أسفل منها طبقة أخرى من الغاز الطبيعى الطليق .

وتبلغ نسبة الأملاح المعدنية فى طبقة الهدرات نحو ١,٥٪ ، ويتكون الغاز الحر المتصاعد منها من ٩٨,٦٪ ميثان ، ٠,١٪ ايثان ، ٠,١٪ بروبان ، وبعض الغازات الاخرى مثل ثانى أكسيد الكربون (٠,٥٪) ، والنتروجين (٠,٧٪) ، وقد بدأ استغلال هذه المنطقة فى الاتحاد السوفيتى منذ عام ١٩٧٠ .

ويختلف تركيب الغاز الطبيعى من مكان لاخر ، وهو فى أغلب الحالات يتكون من خليط من الهدروكربونات ، ولكنه قد يتكون من نسبه عاليه جدا من غاز الميثان كما فى حقل « رافينا » «Ravenna» بايطاليا ، فهو يتكون من الميثان بنسبه ٩٩,٥٪ بالحجم .

وهناك مكامن للغاز تقل فيها نسبة الهدروكربونات وتزيد بها نسبة بعض الغازات الاخرى مثل غاز ثانى اكسيد الكربون وغاز النتروجين .

ومن امثلة ذلك مكامن الغاز الموجودة بالمكسيك فى حقول « بانوكو إيبانو » «Panuco Ebano» ، وحقل « ميجيوفو » « Megeovo » فى سيبيريا الشرقية ، وبعض الحقول الاخرى فى المجر ، فالغاز الطبيعى المتصاعد من هذه الحقول يحتوى على نسبة عالية من غاز ثانى أكسيد الكربون . وقد تصل نسبة غاز ثانى أكسيد الكربون الى حد كبير فى حقل الغاز الطبيعى ، فهى تصل إلى ٩٥٪ بالحجم فى « هانوفر » « Hanover » بالمانيا .

كذلك هناك مكامن قد تحتوى على غاز النتروجين فقط كما فى حقل « فولجا ـ اورال » « Volga - Oural » بالاتحاد السوفيتى ، وهى لاتعد من مكامن الغاز الطبيعى الذى نقصده هنا فهى لاتصلح كوقود لان غاز النتروجين لايقبل الاشتعال .

ولاتوجد مكامن طبيعية تحتوى على غاز كبريتيد الهدروجين فقط ولكن هذا الغاز قد يوجد مختلطا بنسب متفاوته بالغاز الطبيعى فى بعض الاحوال .

ومن أمثلة هذه الحالة الأخيرة بعض مكامن الغاز الطبيعى الموجودة بجنوب فرنسا بجوار جبال البرانس ، وهى مكامن ضخمة يقدر ما بها من غاز طبيعى بنحو ٢٥٠ مليار متر مكعب ، ويتكون الغاز المتصاعد من هذه المكامن من غاز الميثان بنسبة ٦٩٪ بالحجم ومن نحو ١٥٪ بالحجم من غاز كبريتيد الهدروجين . كذلك توجد بعض مكامن الغاز الطبيعى فى الاتحاد السوفيتى يحتوى الغاز المتصاعد منها على نحو ٢٥٪ من غاز كبريتيد الهدروجين .

وأغنى مناطق العالم بالغاز الطبيعى هى سيبيريا الشرقية بالاتحاد السوفيتى ومنطقة الشرق الأوسط فى ايران والسعودية وقطر ، وبعض مناطق أمريكا الشمالية ، وتمثل هذه المناطق معا نحو ثلاثة أرباع المخزون العالمى من الغاز الطبيعى .

ويوجد الغاز الطبيعى عادة فى الطبقات المسامية فى باطن الأرض ولذلك نجد أن المستكشفين يبحثون دائما عن وجود مثل هذه الطبقات فى كل مكان سواء فى

الصحراوات أو تحت مياه البحر وفى المستنقعات ، أو تحت الثلوج فى المناطق القطبية كما فى الاسكا .

ويستخدم الغاز الطبيعى اليوم كمصدر للطاقة فى كثير من الدول ، وهو يشغل المرتبة الثالثة بعد زيت البترول والفحم .

ويستعمل الغاز الطبيعى فى جمهورية مصر العربية فى بعض الصناعات كما فى مصنع سماد اليوريا بأبى قير ، كما يستعمل فى اغراض الطهو والتسخين بالمنازل فى القاهرة الكبرى عن طريق شبكة من الانابيب .

وقد بدأ استخدام الغاز الطبيعى كوقود فى الولايات المتحدة عام ١٨٢٠ ، ولكنه لم يصبح منافسا قويا للغازات الاخرى المصنعة من الفحم والبترول إلا فى القرن العشرين .

ويستخرج الغاز الطبيعى من باطن الارض بنفس طريقة الحفر المستخدمة فى استخراج البترول ، والتى سبق ذكرها .

وقد تم حفر أول بئر للغاز الطبيعى فى الولايات المتحدة عام ١٨٢١ بجوار « فريدونيا » بنيويورك ، وكانت هذه البئر سطحية ، إذ كان عمقها لايزيد على ثمانية أمتار .

وفى عام ١٨٢٦ تم حفر بئر آخرى للغاز الطبيعى على ضفاف بحيرة ايرى ، ونقل الغاز المتصاعد من هذه البئر بانابيب من الخشب لمسافة نحو كيلو متر ، لاضاءة فنار على شاطىء البحر .

كذلك استخدم الغاز الطبيعى عام ١٨٤٠ بالولايات المتحدة لتبخير مياه البحر للحصول على ملح الطعام .

وفى عام ١٨٥٨ قامت بالولايات المتحدة مؤسسة خاصة لتوزيع هذا الغاز الطبيعى على المنازل وعلى بعض المؤسسات التجارية الأخرى .

وعند حفر أول بئر من آبار البترول بالولايات المتحدة بالقرب من مدينة تيتوسفيل عام ١٨٥٩ ، تصاعد بعض الغاز الطبيعى مع زيت البترول من باطن الأرض . وقد تسبب هذا الغاز فى مضايقة القائمين على عملية الحفر ، اذ لم تكن له فائدة عندهم ، وكانت طريقتهم الوحيدة للتخلص من هذا الغاز هى احراقه عند رأس البئر ، وبهذا ضاعت عليهم ملايين الامتار المكعبة من هذا الغاز النافع .

ويستعمل الغاز الطبيعى اليوم بكثرة ، فقد بلغ انتاج هذا الغاز فى الولايات المتحدة عام ١٩٤٠ نحو ٩٠ مليار متر مكعب ، وزاد انتاجه بعد ذلك حتى بلغ ٣٠٠

مليار متر مكعب فى عام ١٩٥٥ ، ومن المقدر أن يبلغ استهلاك هذا الغاز على المستوى الدولى نحو ٢٨٠٠ مليار متر مكعب فى العام فى اوائل القرن القادم حتى عام ٢٠٢٠ م .

ويضيع جزء كبير من الغاز الطبيعى دون فائدة تذكر ، فتحرق منه كميات هائله فى حقول البترول ، وتفقد منه كميات اخرى فى أثناء استخراج البترول ، أو يعاد حقنها تحت الارض لزيادة ضغط المكامن .

ويقدر أنه منذ بداية هذا القرن حتى عام ١٩٨٠ قد تم احراق نحو ٤٠٠٠ مليار متر مكعب من الغاز ، وأعيد حقن نحو ٢٧٠٠ مليار متر مكعب اخرى فى باطن الأرض .

وهناك محاولات مستمرة اليوم لاكتشاف حقول جديدة من الغاز الطبيعى حتى يمكن مجابهة الاستهلاك الكبير الذى يتزايد يوما بعد يوم ، والذى ينذر بنفاد هذا الغاز فى أوائل القرن الحادى والعشرين .

والغاز الطبيعى النقى لا لون له ولا رائحة ، وهو يصلح للاستخدام وقودا بطريقة مباشرة ، أى يستعمل كما هو دون معالجة ، وعادة ما تضاف إلى هذا الغاز إحدى المواد العضوية ذات الرائحة المميزة حتى يتنبه الناس لأى تسرب يحدث فى خطوط الانابيب التى تنقل هذا الغاز ، وذلك كى يصبح استعمال هذا الغاز أكثر أمانا .

وعندما يكون الغاز الطبيعى مصاحبا للبترول فى مكامنه ، فانه غالبا مايكون محملا بأبخرة بعض مكونات البترول سهلة التطاير مثل الجازولين .

ويتم فصل أبخرة الجازولين من الغاز الطبيعى بضغطه وتبريده فتتحول ابخرة الجازولين إلى سائل يتم فصله عن الغاز ، ويضم بعد ذلك إلى الجازولين المستخدم وقودا للسيارات .

وعند احتواء الغاز الطبيعى على بعض الغازات غير المرغوب فيها مثل غاز ثانى أكسيد الكربون ، أو غاز كبريتيد الهدروجين ، فانه يجب إزالة هذه الشوائب من الغاز قبل استعماله .

وعادة ما يمرر مثل هذا الغاز فى أبراج خاصة تعرف باسم « أبراج الغسيل » يدفع فيها الغاز من فتحات فى أسفلها ليقابلها رزاز من محلول هدروكسيد الصوديوم يتساقط من قمة هذه الأبراج . ويقوم محلول هدروكسيد الصوديوم بامتصاص مركبات الكبريت الضارة وغاز ثانى اكسيد الكربون المختلطة بالغاز الطبيعى ، ويصبح بعد ذلك صالحا للاستعمال .

نقل الغاز الطبيعي

أقيم أول خط أنابيب لنقل الغاز الطبيعي بالولايات المتحدة عام ١٨٥٨ ، ولكن أول خط طويل من الأنابيب لنقل الغاز أنشىء بها عام ١٨٧٠ ، واستعمل هذا الخط لنقل الغاز الطبيعي لمدة عامين ، ثم توقف به العمل بعد ذلك .

وقد كان طول هذا الخط نحو ٢٥ كيلو مترا ، واستخدمت في انشائه أنابيب من خشب الصنوبر الابيض .

وقد استخدمت الانابيب المصنوعة من الحديد بعد ذلك بفترة قصيرة ، أي في عام ١٨٧٢ ، وكان قطر الأنابيب المستخدمة نحو ٥ سنتيمترات ، ثم انشئت خطوط اخرى لنقل الغاز الطبيعي عام ١٨٩٠ ، واستعملت فيها أنابيب من الحديد ذات اقطار أكبر ، ولكنها لم تزد على ٢٠ سنتيمترا .

وابتداء من عام ١٩٢٥ ، بدأ استخدام خطوط طويلة من الأنابيب الصلب لنقل الغاز الطبيعي ، وذلك بعد تقدم صنع الانابيب الملحومة بالكهرباء .

وقد بدأ الغاز منذ ذلك الحين يصل إلى كثير من المدن في الولايات المتحدة ، وفي نهاية الاربعينات تم انشاء خط انابيب خاص لنقل البترول من حقول تكساس إلى نيويورك ، ويستخدم هذا الخط حاليا لنقل الغاز الطبيعي .

وتستعمل الان في نقل الغاز الطبيعي خطوط من أنابيب الصلب تزيد أقطارها في بعض الأحيان على المتر .

ويتكون خط الانابيب عادة من عديد من أطوال الانابيب ، ويتم لحام هذه الانابيب بعضها ببعض باحكام حتى لايتسرب منها الغاز ، ثم تغطى هذه الانابيب من الخارج بنوع خاص من الورق المبلل بالقار لحمايتها من رطوبة الارض وما تحدثه هذه الرطوبة من تاكل في جدرانها .

وينظف خط الانابيب من الداخل بالة خاصة تحمل مجموعة من الفرش ، وتدفع هذه الالة بواسطة الهواء المضغوط داخل خط الانابيب كما تدور الفرش بقوة لتنظيف السطح الداخلي للانابيب من كل ما قد يكون قد علق به من شوائب أو فتات .

وبعد أن تنتهي عملية تنظيف السطح الداخلي للأنابيب ، يغطى سطحها الخارجي بالقار ، ويتم انزالها في خنادق خاصة على عمق قليل من سطح التربة وتغطى جيدا ببقايا الحفر .

ويمكن وضع خط الانابيب فى قاع البحر ، وهناك خط من هذا النوع يمتد تحت الماء على طول شواطىء ولاية لويزيانا بالولايات المتحدة ، ويبلغ طوله نحو ٩٠ كيلو مترا ، وينقل الغاز الطبيعى من خليج المكسيك .

وعادة ما يندفع الغاز الطبيعى بسرعة كبيرة فى خط الانابيب تحت ضغطه الطبيعى الذى يخرج به من البئر ، وتبلغ سرعة جريانه فى الانابيب فى المعتاد نحو ٩٥ ـ ١١٥ كيلو مترا فى الساعة ، ولكن هذه السرعة العالية تقل تدريجيا بازدياد المسافة التى يقطعها الغاز ، فهو يفقد جزءا من سرعته نتيجة لاحتكاكه المستمر بالسطح الداخلى للانابيب .

وعادة ما تقام محطات تقوية على مسافات متباعدة على طول خط الانابيب التى تنقل الغاز الطبيعى ، تكون مهمتها زيادة ضغط الغاز وزيادة سرعة جريانه فى الانابيب .

ويعتمد عدد محطات التقوية على طول المسافة التى يقطعها خط الانابيب ، وهى تقام عادة على خطوط الانابيب الطويلة جدا ، ويفصل كل محطة عن الاخرى نحو ٣٠٠ كيلو متر ، وتدار أغلب هذه المحطات بطريقة الية ، وتتخذ بها احتياطات مشددة لمنع حدوث الحرائق والانفجارات .

وعند ضغط الغاز بالمضخات لزيادة سرعته فى الانابيب ترتفع درجة حرارته إلى حد ما ، ولذلك يتم تبريد هذا الغاز فى ابراج خاصة إلى درجة الحرارة المعتادة ، ثم يعاد حقنه فى خط الانابيب .

وينقل الغاز الطبيعى كذلك بين القارات ، وهو ينقل فى هذه الحالة على هيئة غاز مسال .

ويتم نقل الغاز بهذه الصورة من شواطىء الجزائر إلى شواطىء فرنسا عبر البحر الأبيض المتوسط ، كما ينقل الغاز الطبيعى كذلك من سواحل الجزائر إلى السواحل الشرقية للولايات المتحدة عبر المحيط الاطلنطى .

وتقتضى هذه الطريقة وجود ناقلات خاصة بها خزانات معزولة ومنخفضة الحرارة تستطيع الاحتفاظ بالغاز فى حالة السيولة .

ويوجد حاليا اسطول ضخم من هذه الناقلات يزيد عدد سفنه على ثلاثين سفينة ، تستطيع كل منها أن تحمل نحو ١٢٥ الفا من الامتار المكعبة من الغاز الطبيعى السائل فى خزاناتها ، وهى تعطى عدة بلايين من الاقدام المكعبة من الغاز عندما يعود إلى طبيعته الغازية فى درجة الحرارة العادية .

كذلك يتطلب الأمر وجود تجهيزات خاصة لإسالة الغاز الطبيعى فى البلد المصدر للغاز ، وقد أقيم لهذا الغرض مصنع لإسالة الغاز فى « أرزو » ، بالجزائر يتم فيه ضغط الغاز وتبريده لتسييله حتى يصل حجمه إلى نحو جزء من ستمائة جزء من حجمه الاصلى فى درجة حرارة الغرفة .

كذلك يقتضى الأمر وجود تجهيزات أخرى فى البلد المستورد للغاز الطبيعى ، يحول فيها الغاز المسال إلى غاز يمكن استعماله مباشرة ، وعادة ما يتم ذلك بامرار الغاز المسال فى مبادلات حرارية خاصة يتم تدفئتها بتيار من المياه السطحية الدافئة للبحر .

طرق تخزين الغاز الطبيعى

يختلف استهلاك الغاز الطبيعى من فصل لآخر خلال العام ، فيزداد استهلاكه كثيرا فى فصل الشتاء لاستخدامه فى التسخين وفى تدفئة المنازل ، على حين يقل استخدامه كثيرا فى فصل الصيف .

كذلك يختلف استهلاك الغاز الطبيعى فى الاوقات المختلفة لليوم الواحد ، فيرتفع استهلاكه فى المنازل فى وقت الظهيرة أثناء تحضير وجبات الطعام بينما يقل استهلاكه عن ذلك فى الصباح وفى المساء .

ويقتضى هذا التفاوت فى استهلاك الغاز الطبيعى ضرورة وجود طريقة عمليه يمكن بها تخزين كميات وافرة من هذا الغاز لاستخدامها وقت الحاجة لمجابهة الاحتياجات المطلوبة فى أوقات الذروة سالفة الذكر .

ولا يمكن تخزين الغاز الطبيعى فى خزانات خاصة تقام فى المدن ، فليس من المستطاع توفير عدد من الخزانات تسع ملايين الامتار المكعبة المطلوبة من هذا الغاز ، فبجانب التكلفة المرتفعة لهذه الطريقة ، هناك خطر حدوث الحرائق والانفجارات نتيجة لبعض الحوادث التى قد تقع لهذه الخزانات .

وقد ابتكرت طريقة سهلة وقليلة التكاليف لتخزين الغاز الطبيعى ، فيتم الان تخزينه داخل نفس خطوط الانابيب المستخدمة فى نقله ، وذلك برفع ضغطه تدريجيا ، فتتكدس منه كميات كبيرة فى هذه الخطوط وتبقى جاهزة للاستعمال عند الضرورة .

وتعرف هذه الطريقة باسم « حشو الخط » « Line Pack » وهو اسم مجازى يعنى تخزين الغاز فى خط الانابيب .

وتتحمل الانابيب التى تستخدم فى نقل الغاز الطبيعى ضغوطا عالية ، فهى

تصنع من الصلب ، ولذلك يمكن تخزين كميات كبيرة من الغاز فى هذه الخطوط دون أن تتأثر ودون المساس بعامل الأمان .

وتوفر هذه الطريقة كثيرا من التكاليف ، فهى لاتتضمن اقامة أى خزانات أو منشآت سطحيه ولاتحتاج إلى استئجار مساحات خاصة لهذه المنشآت ، كما أن الغاز المختزن فى خط الانابيب يمكن عادة استعماله فورا فى المدن والمصانع .

وهناك طرق أخرى لتخزين الغاز الطبيعى ، فقد يخزن الغاز تحت سطح الأرض وذلك بدفعه إلى بعض التجاويف أو الصخور المسامية ذات الحجم المعلوم وبشرط أن تكون معروفة الحدود - والا تسرب منها الغاز إلى طبقات أخرى أو تسرب من شقوق فى سطح الارض .

وأفضل الأماكن لتخزين الغاز الطبيعى تحت سطح الأرض هى مكامن البترول القديمة أو حقول البترول التى نضبت من قبل .

ويتم ذلك باستخدام محطة ضخ خاصة تقوم بدفع الغاز من خط الانابيب وضغطه فى خلال الصخور المسامية للحقل القديم . وعند الاحتياج إلى استعمال هذا الغاز ، يعاد ضخه من باطن الارض إلى خط الانابيب مرة أخرى .

وتعرف هذه الطريقة بطريقة التخزين الارضى وهى أقل تكلفة بكثير من تخزين الغاز فى خزانات فوق سطح الأرض .

وعادة مايكون ضغط الغاز فى خطوط الانابيب مرتفعا ولذلك لايمكن استخدامه مباشرة فى المصانع أو فى المنازل ، بل يجب دفعه أولا إلى مجموعة من الخزانات متوسطة الحجم لتقليل ضغطه ولتعديل درجة حرارته الى حدود مناسبة تجعله صالحا للاستعمال فى الاجهزة المنزلية وفى الأغراض الصناعية .

والغاز الطبيعى ذو قيمة حرارية مرتفعة ، ولذلك فهو يعتبر وقودا جيدا . وعادة ما يستخدم الغاز الطبيعى وحده لهذا الغرض ، ولكنه قد يخلط فى بعض الأحيان ببعض الغازات الاخرى مثل غاز الفحم أو ببعض الغازات الاخرى التى تنتج من البترول ، خاصة عندما يزداد الطلب كثيرا على الغاز الطبيعى فى بعض المدن فى أوقات الذروة أو فى فصل الشتاء ، ويكون الهدف من هذا الخلط هو تعزيز كمية الغاز الطبيعى التى توزع على مختلف المنازل والمؤسسات .

ولاتوجد حاليا حدود لاستخدام الغاز الطبيعى ، فهو يستعمل اليوم فى كل مكان وفى مختلف الاغراض ، فيستعمل فى المنازل فى عمليات التسخين والطهو والتكييف ، ويستعمل فى الصناعة فى توليد الطاقة فى كثير من العمليات ، ويستعمل

ايضا فى محطات القوى لتوليد الكهرباء ، كما يستعمل كمادة اولية فى تحضير بعض المواد الكيميائية مثل كحول الميثانول (الكحول المثيلى) ، وفى تحضير السناج المستخدم فى صناعة المطاط وفى غير ذلك من الأغراض .

ومن الملاحظ أن كميات الغاز الطبيعى المختزنة فى باطن الأرض والمعروفة بصفة مؤكدة ، قد بدأت فى التناقص فى كثير من البلدان ، وذلك لأن استهلاك هذا الغاز قد زاد مؤخرا بشكل كبير .

ويتضح من ذلك أنه يجب الاهتمام بالبحث والتنقيب عن الغاز الطبيعى لاستكشاف مزيد من مكامنه الطبيعية التى يمكن استخدامها لمجابهة الاحتياجات المتزايدة اليه ، خاصة وهو يمثل واحدا من المصادر النظيفة للطاقة والتى لاينتج عن استخدامها إلا أقل تلوث ممكن .

الطاقة النووية

عرف الانسان منذ قديم الزمان أن المادة ليست شيئا متصلا ، ولكنها تتكون من وحدات صغيرة جدا لاتقبل الانقسام .

وقد كان الفيلسوف الاغريقى « **ديموكريتس** » « **Democritus** » هو أول من نادى بهذه الفكرة فى القرن الخامس قبل الميلاد .

وقد افترض ديموكريتس أن جميع المواد ، مهما تنوعت أصنافها وأشكالها ، يمكن تفتيتها إلى جسيمات متناهية فى الصغر لايمكن تقسيمها بعد ذلك إلى ماهو أصغر منها ، وأطلق على هذه الجسيمات الاساسية للمادة اسم « أتوم » « Atom » وهى كلمة مشتقة من كلمتين أغريقيتين وتعنى ما **لايقبل الانقسام** ، وهى ما نعرفه نحن اليوم **باسم الذرة** .

وقد كانت الفكرة الشائعة فى ذلك الزمان أن الكون يتكون من عناصر أربعة ، هى الماء والهواء والأرض والنار ، وقد نادى بهذه الآراء الفيلسوف الاغريقى « **امبيدوكليس** » « **Empedocles** » وهى النظرية التى قدمها أرسطو فيما بعد باسم **نظرية العناصر الاربعة** .

وقد سادت نظرية العناصر الأربعة اكثر من الفى عام ، واستمر الاعتقاد بصحتها حتى بداية القرن الخامس عشر .

وقد تنبه الناس فى بداية القرن السادس عشر إلى الأفكار التى نادى بها من قبل الفيلسوف الاغريقى ديموكريتس ، وبدأ بعض علماء ذلك الزمان أمثال **جاليليو وفرانسيس بيكون وديكارت وبويل ونيوتن** ، يتحققون فى تجاربهم من أن المادة ليست شيئا متصلا ، ولكنها تتكون من وحدات متناهية فى الصغر ومحددة التركيب .

وفى بداية القرن التاسع عشر ، قدم الكيميائى البريطانى « **جون دالتون** » « John Dalton » (١٧٦٦ ـ ١٨٤٤) تصورا للذرة كما نعرفها اليوم ، وافترض انها اصغر جزء من العنصر يستطيع أن يحمل صفات هذا العنصر ، وأن

جميع ذرات العنصر الواحد تكون متشابهة تماما ، ولكنها تختلف عن ذرات بقية العناصر الاخرى .

وقد كان هذا التصور هو بداية قصة الذرة التى عرفها العالم ، واولى الخطوات على ذلك الطريق الطويل من التجارب والبحوث التى شارك فيها رواد كبار امثال « ج . ج . طومسون » و « رذر فورد » و « نيلز بوهر » والتى ساهمت فى تقديم تصور أكثر دقة لتركيب الذرة .

تركيب الذرة

الذرة جسيم متناه فى الصغر ، فأكبر ذرة لايتجاوز قطرها $١٠^{-٨}$سم ، أى جزء من مائة مليون جزء من السنتيمتر .

وتشبه الذرة فى تركيبها نظامنا الشمسى بوجه عام ، فتتكون كل ذرة من نواة مركزية مثل الشمس ـ تدور حولها مجموعة من الالكترونات .

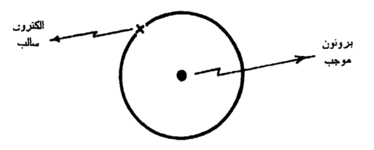
ونواة الذرة متناهية فى الصغر ، فلا يتجاوز قطرها أكثر من $١٠^{-١٢}$ من السنتيمترات ، أى جزء من عشرة مليون جزء من السنتيمتر .

وتفصل النواة عن الالكترونات مسافة كبيرة مثل تلك المسافة التى تفصل الشمس عن كواكبها ، فلو فرضنا أن إحدى الذرات الكبيرة قد زادت فى الحجم حتى شغلت مترا مكعبا ، فاننا سنجد أن نواة هذه الذرة التى يقل حجمها عن حجم رأس الدبوس ستشغل مركز هذا المكعب على حين تدور الالكترونات فى الاطار الخارجى لهذا المكعب .

ويبدو لنا من هذا الوصف أن ديموكريتس لم يكن موفقا عندما تصور أن الذرات عبارة عن جسيمات صغيرة لاتقبل الانقسام ، فقد رأينا أن الذرة ليست جسما مصمتا ، ولكنها تتكون من وحدات مختلفة فهى تتكون من نواة مركزية تدور حولها مجموعة من الالكترونات .

ونواة الذرة ايضا ليست شيئا مصمتا ، فهى تتكون بدورها من نوعين من الجسيمات ، يعرف أحدهما باسم **البروتونات** ، وهى جسيمات تحمل شحنة موجبة ، ويسمى الآخر **بالنيوترونات** ، وهى جسيمات متعادلة .

ونظرا لأن الذرة فى حالتها العادية تكون متعادلة ، فان عدد ما بها من الكترونات سالبة يكون مساويا دائما لعدد ما بها من بروتونات موجبة ويعرف عدد الالكترونات أو عدد البروتونات باسم العدد الذرى .



شكل ٤ ـ ١ ذرة الهدروجين

ويقع وزن الذرة باكمله تقريبا فى نواتها ، وتتساوى أوزان كل من البروتونات والنيوترونات على وجه التقريب ، فتبلغ كتله البروتون نحو ١,٦٨٥٦٧ × $١٠^{-٢٤}$ من الجرامات ، بينما تبلغ كتلة النيوترون نحو ١,٦٨٨٠٠ × $١٠^{-٢٤}$ من الجرامات .

أما كتلة الالكترونات التى تدور حول النواة فهى اخف من ذلك بكثير ، فتبلغ كتلة الالكترون نحو $\frac{١}{١٨٣٦}$ من كتلة البروتون ، ولذلك يعتبر وزن كل من البروتونات والنيوترونات ممثلا لوزن الذرة أو الوزن الذرى .

ونظرا لصغر اوزان هذه الجسيمات فاننا نعبر عن وزن كل من البروتون والنيوترون بالوحدة أى « ١ » . وأبسط الذرات وأخفها هى ذرة الهدروجين ، فهى تتكون من بروتون واحد موجب الشحنة يمثل نواة الذرة ، ويدور حوله الكترون واحد سالب الشحنة ، وبذلك يكون العدد الذرى لذرة الهدروجين = ١ والوزن الذرى = ١ كذلك .

ويزداد العدد الذرى عندما ننتقل من عنصر لآخر بمقدار وحدة واحدة ، وذلك لان كل ذرة تزيد على ماقبلها ببروتون موجب واحد ، والكترون سالب واحد ، ولكن الوزن الذرى يعتمد على عدد كل من البروتونات النيوترونات التى تشترك فى تكوين نواة الذرة .

ولايزيد عدد العناصر الموجودة طبيعيا على ٩٢ عنصرا ، وهى تبدأ بالهدروجين وعدده الذرى ١ ، ووزنه الذرى واحد (بنواته بروتون واحد) ، وتنتهى باليورانيوم وعدده الذرى ٩٢ ، أى أن بنواته ٩٢ بروتونا ، على حين ان وزنه الذرى ٢٣٨ ، لأن بنواته ١٤٦ من النيوترونات ، ويتضح لنا من ذلك أن العدد الذرى والوزن الذرى للعنصر قد لايتفقان .

ونحن نتعامل مع كثير من هذه العناصر كل يوم ، مثل الاكسجين

والنتروجين اللذين يوجدان فى الهواء ، ومثل الفضة والذهب والنحاس والرصاص .

وهناك عدد اخر من هذه العناصر لايوجد فى الطبيعة ، وهى عناصر اصطناعية ، أى من صنع الانسان ، وتعرف باسم « **عناصر مابعد اليورانيوم** » « **Trans uranium elements** » وهى عناصر ذات أعداد ذرية أعلى من اليورانيوم .

وتدخل الذرات فى كثير من التفاعلات الكيميائية ، وهى تفعل ذلك عن طريق الالكترونات التى توجد بمداراتها الخارجية ، وتتكون من هذه التفاعلات كثير من المركبات المعروفة ـ مثل السكر وملح الطعام والجص والجير وما إليها .

ولاتدخل نواة الذرة فى هذه التفاعلات ، ولاتكون طرفا فيها على الاطلاق ، وكانت النواة حتى وقت قريب تعتبر شيئا بعيد المنال ، ولا يمكن التدخل فى تركيبها .

وفى نهاية القرن التاسع عشر اكتشف أحد العلماء الفرنسيين ويدعى « **انطوان بيكريل** » « Antoine Henri Becquerel » خاصية جديدة لبعض العناصر ، عرفت فيما بعد باسم **خاصية النشاط الاشعاعى** ، كما قام كل من **بيير ومارى كورى** « Pierre and Marie Curie » بعد ذلك باكتشاف بعض العناصر المشعة مثل الراديوم والبولونيوم ، وقد كانت هذه هى أولى الخطوات فى معرفتنا بأسرار النواة .

وفى بداية هذا القرن قام « **البرت اينشتاين** » « Albert Einstein » بوضع نظرية النسبية ، ووضح فيها بالمعادلات الرياضية أن المادة يمكن أن تتحول إلى طاقة ، وعبر عن ذلك بمعادلته الشهيرة

$$ط = ك \times ع^{2}$$

حيث ط = الطاقة ، ك = الكتلة ، ع = سرعة الضوء .

وقد لفت اينشتاين الانظار بهذه المعادلة إلى ذلك الشىء الجديد الذى سمى فيما بعد **بالطاقة النووية** .

وقد ظلت هذه الافكار المتعلقة بتحطيم الذرة شيئا نظريا وفرضا رياضيا لا سند له من التجربة ولا دليل ، حتى قام اثنان من العلماء الالمان هما « **اوتو هان** » «Otto Hahn» و« **فرتيز شتراسمان** » « Fritz Strassmann » عام ١٩٣٩ ، باكتشاف أن ذرة اليورانيوم يمكن أن تنشطر إلى نصفين تقريبا اذا قذفت بنيوترونات عالية الطاقة .

وقد كانت هذه التجربة هى أولى الخطوات التى فتحت الطريق على مصراعيه أمام الانسان ليستغل هذه الطاقة الهائلة الموجودة بنواة الذرات .

وقد تبين فيما بعد أن عنصر اليورانيوم يوجد على هيئة نظيرين يتفقان فى عدد الالكترونات وعدد البروتونات فى ذرات كل منهما ، ويختلفان فقط فى عدد النيوترونات الموجودة بنواة كل منهما .

واحد هذين النظيرين يعرف باسم يورانيوم ٢٣٥ ، والاخر يعرف باسم يورانيوم ٢٣٨ ، والاول منهما وهو يورانيوم ٢٣٥ هو الذى يقبل الانشطار ، بينما يبقى يورانيوم ٢٣٨ ثابتا لا يتأثر .

وقد اتضح أنه عند قذف اليورانيوم ٢٣٥ بنيوترونات عالية الطاقة ، فان ذرة اليورانيوم تلتقط أحد هذه النيوترونات ليرتفع عدد ما بها من بروتونات ونيوترونات إلى ٢٣٦ ، وتتحول بذلك إلى ذرة غير ثابتة سريعا ما تنشطر نواتها إلى قسمين ، وينطلق فى هذه العملية عدد من النيوترونات عالية السرعة ، يصل عددها إلى ثلاثة نيوترونات ، وتصل سرعتها إلى عدة الاف من الكيلومترات فى الثانية .

ويصحب عملية انشطار النواة انطلاق قدر هائل من الطاقة يصل الى نحو ٢٠٠ مليون الكترون فولت ، تظهر على هيئة طاقة حرارية .

ويعد انطلاق النيوترونات فى هذه العملية من اخطر العوامل التى تصاحب عملية الانشطار ، فهذه النيوترونات السريعة الناتجة ، سريعا ما تصطدم بنوى بعض ذرات اليورانيوم المجاورة ، وتؤدى الى انشطارها ، وخروج نيوترونات جديدة منها تؤدى بدورها الى انشطار ذرات جديدة وهكذا .

ويتضح من ذلك أن هناك فرصة كبيرة لتكرار عملية الانشطار وتتابعها بين ذرات العنصر المتجاورة ، وهى عملية تعرف باسم « **التفاعل المتسلسل** » « Chain Reaction » .

ويحتاج التفاعل المتسلسل الى وجود عدد كبير من الذرات المتجاورة ، أى أنه يحتاج إلى وجود قدر معين او كمية معينة من المادة التى تقبل الانشطار ، وذلك حتى يمكن للنيوترونات الناتجة أن تصيب ذرات جديدة وتؤدى الى انشطارها ، واذا لم يتوفر ذلك ، فان اغلب هذه النيوترونات سينطلق فى الفراغ الواقع بين الذرات دون ان يصيب أى منها .

وعادة ما يعبر عن أقل قدر من المادة يصلح لنجاح عملية الانشطار باسم « **الكتلة الحرجة** » اى أنه عندما ناخذ كمية أقل من هذه الكمية لايحدث الانشطار ، ولكنه يحدث عندها وعند القيم الاعلى منها .

وتعتمد الكتلة الحرجة بصفة عامة على نوع المادة القابلة للانشطار وعلى شكل الكتلة المستخدمة منها .

وقد استطاع الانسان إطلاق هذه الطاقة الهائلة الناتجة من انشطار نواة الذرة ، واستخدمها فى التدمير فصنع منها القنابل الذرية . ولكن المشكلة الرئيسية كانت فى الكيفية التى يمكن بها التحكم فى هذه الطاقة الهائلة واستخدامها فى الأغراض السلمية ، وقد تمكن الانسان من ابتكار جهاز حقق له هذا الهدف وأطلق عليه اسم المفاعل النووى .

المفاعل النووى

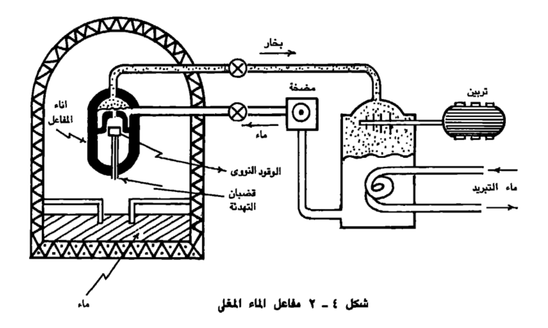
تتم عملية إنشطار النواة فى جهاز خاص يعرف باسم المفاعل النووى . والوظيفة الرئيسية لهذا المفاعل هو التحكم فى عملية الانشطار واطلاق الطاقة الناتجة منها بصورة تدريجية حتى يمكن الاستفادة من هذه الطاقة وتجنب حدوث الأخطار .

وهناك نوعان من المفاعلات النووية . النوع الأول منها يستطيع أن يوفر قدرا من الاشعاع يمكن استعماله فى صنع بعض النظائر المشعة التى تستعمل فى البحوث أو تستعمل فى علاج بعض الأمراض ، كما يمكن استخدامه لانتاج بعض أنواع من الوقود النووى الأخرى .

والنوع الآخر من المفاعلات هو الذى يهمنا هنا ، وهو ذلك النوع من المفاعلات الذى يعطى طاقة على هيئة حرارة يمكن استغلالها فى توليد البخار وفى بعض الأغراض الصناعية وفى توليد الكهرباء .

ويتكون المفاعل عادة من وعاء ثقيل سميك الجدار ، يحتوى قلبه على الوقود النووى ، كما يحتوى أيضا على بعض المواد التى لها القدرة على أن تبطىء من سرعة النيوترونات الناتجة من عملية الانشطار وتهدىء من سرعة التفاعل المتسلسل ، ولذلك فهى تسمى عادة باسم « المواد المهدئة » « **Moderants** » . كذلك تنساب خلال قلب المفاعل إحدى المواد التى تنتقل إليها الحرارة المتولدة من الانشطار وتسمى هذه المواد باسم « المواد المبردة » « **Coolants** » ويمكن عن طريقها التخلص من الحرارة الزائدة الناتجة فى قلب المفاعل من عملية الانشطار ، كما أنها تساعد على نقل هذه الحرارة إلى خارج المفاعل لاستغلالها فى مختلف الأغراض .

ويجب التحكم فى كل هذه العمليات بدقة متناهية ، ولذلك فعادة ما يكون



شكل ٤ ـ ٢ مفاعل الماء المغلى

بالمفاعل النووى جهاز مركزى للتحكم ولمراقبة كل هذه العمليات ، كما أنه عادة ما تتخذ إجراءات أمن صارمة يتم الالتزام بها كل الالتزام ، خاصة فيما يتعلق بتناول المواد المشعة أو بتسرب الاشعاع فى داخل المفاعل أو خارجه ، أو فيما يختص بالتخلص من النفايات النووية .

ويصحب التفاعل المتسلسل عادة زيادة كبيرة فى الضغط ولذلك يجب أن يكون وعاء المفاعل معدا لتحمل الضغط العالى ، كما يجب أن تكون له القدرة على مقاومة عمليات التآكل التى قد تنتج من السريان السريع للمادة المبردة .

وتصنع أغلب المفاعلات النووية من الصلب الذى لايصدأ ، وقد يصل سمك جدار الوعاء إلى نحو خمسة عشر سنتيمترا ، وعادة ما يحيط بهذا الوعاء جدار آخر سميك من الاسمنت لامتصاص ما قد يتسرب من النيوترونات أو من بعض الاشعاعات الاخرى .

ويستعمل الماء عادة فى تبريد المفاعلات النووية ، ويدفع الماء من قاع المفاعل ليدخل الى قلبه محيطا بالوقود النووى وملامسا له ، فترتفع درجة حرارة الماء ويتحول إلى بخار يستعمل فى إدارة التربينات وتوليد الكهرباء.

وتوضع فى قلب المفاعل قضبان تحكم تصنع من مواد خاصة مثل البورون أو الكادميوم ، وتعمل هذه القضبان على امتصاص النيوترونات ، ويمكن برفعها

أو إنزالها فى قلب المفاعل ضبط التفاعل المتسلسل وتنظيمه ، والتحكم فى كمية الطاقة التى يولدها المفاعل .

الوقود النووى

عادة مايستعمل اليورانيوم ٢٣٥ كوقود فى المفاعلات النووية ، الا أنه يمكن كذلك استعمال انواع أخرى من الوقود مثل اليورانيوم ٢٣٣ والبلوتونيوم ٢٣٩ .

وتحتوى خامة اليورانيوم الموجودة طبيعيا على اليورانيوم ٢٣٨ ولكن اليورانيوم المنقى والمستخرج من الخامة الطبيعية يحتوى على قدر ضئيل من اليورانيوم ٢٣٥ ، ولاتزيد نسبته عادة على ٠,٧٪ .

ولايوجد البلوتونيوم فى الطبيعة ، ولكنه فلز من صنع الانسان ، وهو يتكون عند قذف ذرة اليورانيوم ٢٣٨ بنيوترونات عالية الطاقة .

وتتحول ذرة اليورانيوم ٢٣٨ عندما تمتص أحد هذه النيوترونات إلى يورانيوم ٢٣٩ ، وهو نظير غير ثابت ، وسرعان ما تنحل هذه الذرة الجديدة إلى بلوتونيوم ٢٣٩ ، وهو عنصر مشع وقابل للانشطار .

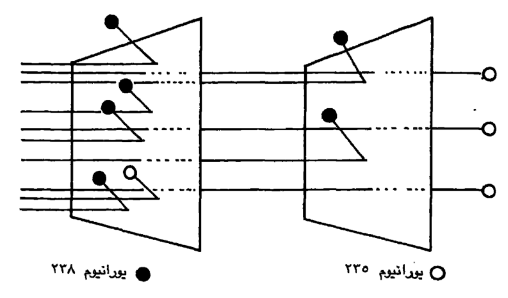
ويمكن تحضير اليورانيوم ٢٣٣ بقذف عنصر الثوريوم ٢٣٢ ، وهو عنصر ثابت وغير مشع ، بواسطة نيوترونات عالية الطاقة ، وعندما تمتص ذرة الثوريوم ٢٣٢ أحد هذه النيوترونات ، تتحول إلى ثوريوم ٢٣٣ الذى ينحل بعد ذلك إلى اليورانيوم ٢٣٣ .

ويمكن استخدام بعض العناصر المشعة الأخرى التى تقبل الانشطار ، مثل عنصر البروتكتنيوم ، ولكن مثل هذة العناصر ليست فى صلاحية العناصر الثلاثة السابقة .

واليورانيوم ٢٣٥ هو أكثر هذه العناصر استعمالا فى الوقت الحاضر ، ولايستعمل العنصر النقى عادة ، بل يمكن استخدام اليورانيوم المعتاد الذى يحتوى على ٠,٧٪ من اليورانيوم ٢٣٥ ، كما يمكن استعمال **اليورانيوم المخصب** « **enriched** » والذى قد تصل فيه نسبة اليورانيوم ٢٣٥ إلى نحو ٤٪ .

وتلجأ بعض الدول الى عملية تخصيب اليورانيوم لرفع نسبة مابه من النظير المشع اليورانيوم ٢٣٥ .

وتتم عملية التخصيب عادة بطريقة « **الانتشار الغازى** » « **Gaseous Diffusion** » ، وهى تتلخص فى تحويل فلز اليورانيوم النقى ، الذى يتكون من



شكل ٤ ـ ٣ طريقة الانتشار الغازى لتخصيب اليورانيوم

النظيرين ، يورانيوم ٢٣٨ ، ويورانيوم ٢٣٥ ، إلى مركب سداسى فلوريد اليورانيوم « Uranium Hexafluoride UF_6 » وهو مركب يمكن تبخيره بسهولة وتحويله إلى غاز ، ثم يدفع هذا البخار أو الغاز فى خلال مجموعة من المرشحات ذات المسام الدقيقة .

ونظرا لأن ذرات اليورانيوم ٢٣٥ أصغر قليلا من ذرات اليورانيوم ٢٣٨ ، فان قدرا كبيرا من ذرات اليورانيوم ٢٣٥ يستطيع المرور خلال مسام المرشحات بالانتشار .

وبتكرار عملية الانتشار ، فان الغاز الذى يتقدم فى خلال المرشحات تزداد به نسبة الذرات الاصغر ، أى تزداد به نسبة ذرات عنصر اليورانيوم ٢٣٥ ، بينما تزداد نسبه اليورانيوم ٢٣٨ فى الغاز المرتد من هذه المرشحات .

وقد أمكن بهذه الطريقة إنتاج يورانيوم يحتوى على تركيزات عالية من اليورانيوم ٢٣٥ . ويعتبر اليورانيوم الذى يحتوى على ٩٣,٥٪ من اليورانيوم ٢٣٥ ، فلزا تام التخصيب .

ولايستعمل اليورانيوم تام التخصيب عادة الا فى الحالات التى تتطلب أن يكون المفاعل صغير الحجم كما فى المفاعلات المستخدمة فى الغواصات أو فى السفن النووية وما شابهها .

أما فى حالة المفاعلات التجارية ، مثل تلك المفاعلات المستخدمة فى توليد الكهرباء ، فليست هناك ضرورة ملحة لصغر حجم المفاعل ، وبذلك يمكن استعمال

أنواع من اليورانيوم أقل تخصيبا ، وهى أنواع أقل تكلفة من اليورانيوم تام التخصيب ، وذلك بسبب ارتفاع تكلفة عمليات الانتشار الغازى السابقة ، وبذلك يزداد سعر اليورانيوم كلما زادت درجة تخصيبه ، أى كلما زادت به نسبة اليورانيوم ٢٣٥ .

ويستعمل اليورانيوم المحتوى على ٢ ـ ٤٪ من اليورانيوم ٢٣٥ ، فى كثير من الحالات ، وهناك بعض المفاعلات التى تعمل باليورانيوم الطبيعى فقط الذى يحتوى على ٠,٧٪ من اليورانيوم ٢٣٥ ، ومثال ذلك بعض المفاعلات التى تعمل حاليا فى فرنسا وبريطانيا وكندا .

ولايستعمل الوقود النووى مباشرة كما فى أنواع الوقود الأخرى ، ولكن يجب دائما إعداد هذا الوقود بعناية فائقة ، وعادة ما تشكل هذه الخطوة إحدى الصعوبات الرئيسية فى تكنولوجيا المفاعلات النووية .

ويجب إتخاذ كثير من الاحتياطات فى هذا المجال ، فذرات اليورانيوم تعطى عند انشطارها بعض الفتات المشعة ، ويجب الحرص الشديد لئلا تلوث هذه الفتات المشعة المادة المستعملة فى تبريد المفاعل ، ولذلك يجب وضع وقود اليورانيوم فى غلاف من المعدن ، يصنع عادة من الصلب الذى لايصدأ أو من الالومنيوم ، أو من سبيكة خاصة من فلز الزركونيوم تعرف باسم « **زركالوى** » « **Zircaloy** » .

ويخدم هذا الغلاف غرضين أساسيين ، فهو يفصل الفتات المشع عن ماء التبريد ، ويمنع كذلك تآكل اليورانيوم بهذا الماء .

ويستعمل ثانى أكسيد اليورانيوم أحيانا فى بعض المفاعلات النووية بدلا من فلز اليورانيوم .

ويوجد ثانى أكسيد اليورانيوم "UO_2" على هيئة مسحوق أسود ، ولايمكن استعماله فى المفاعلات بهذه الصورة ، ولذلك فهو يضغط على هيئة أقراص أو قضبان قصيرة لايزيد طولها على ١٣ مليمترا وقطرها نحو ثمانية مليمترات ، وتوضع هذه القضبان القصيرة بعد ذلك فى أنابيب يصل طولها إلى ٣ أو ٥ أمتار ، ثم تسد أطرافها .

ولاتمنع جدران هذه الانابيب مرور النيوترونات ، وتجمع هذه الأنابيب عادة فى حزم ، وتحتوى كل حزمة على حوالى ٣٠ ـ ٣٠٠ وحدة وتزن كل حزمة نحو ١٤٠ ـ ٦٨٠ كيلو جراما .

وتعطى الحفنة الواحدة التى تملأ الكف من ثانى أكسيد اليورانيوم طاقة تكافىء الطاقة الناتجة من خمسة وثمانين طنا من الفحم .

المواد المهدئة والمواد المبردة

تعتبر عملية التحكم فى معدل التفاعل المتسلسل من أهم العمليات التى يجب السيطرة عليها بعناية كبيرة ، وعادة ما يستعمل الماء العادى أو الماء الثقيل أو الجرافيت فى تهدئة التفاعل المتسلسل بابطاء سرعة النيوترونات الناتجة من عملية الانشطار .

ويشبه الماء الثقيل الماء العادى ، إلا أن جزىء الماء الثقيل يتكون باتحاد الاكسجين مع نظير للهدروجين يعرف باسم الديوتيريوم « Deuterium » وكتلته ٢ .

وعندما يصطدم النيوترون عالى الطاقة الناتج من عملية الانشطار بجزيئات هذه المواد ، فانه يفقد كثيرا من طاقته ، ويشبه ذلك ما يحدث لكرات البلياردو عندما تصطدم بعضها مع بعض ، فالكرة السريعة تبطىء فى سرعتها ، بينما تنتقل طاقتها الحركية إلى الكرات البطيئة الاخرى .

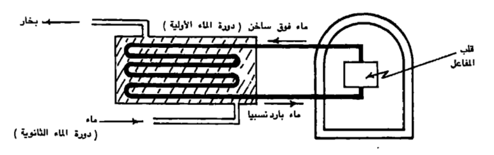
وينتج عن إصطدام النيوترونات بجزيئات الماء أو الجرافيت أن تتحول النيوترونات السريعة التى تبلغ سرعتها عدة الاف من الكيلومترات فى الثانية ، إلى نيوترونات بطيئة لاتزيد سرعتها على عدة كيلو مترات فى الثانية الواحدة ، وبذلك تفقد قدرتها على الاشتراك فى تفاعل الانشطار .

وعند إمرار الماء بين قضبان الوقود النووى فى قلب المفاعل ، فانه يساعد على إبطاء سرعة النيوترونات دون أن يمتصها ، وبذلك ترتفع درجة حرارة هذا الماء ، فيساعد على نقل حرارة المفاعل الى الغلايات التى تنتج البخار .

وهناك نظامان للتبريد يجرى إستخدامهما حاليا فى المفاعلات النووية ، يعرف أحدهما باسم **« مفاعل الماء المضغوط »** « Pressurized water Reactor » ، ويدور فيه الماء فى خلال المفاعل وهو تحت ضغط مرتفع لمنعه من الغليان عند ارتفاع درجة حرارته .

ويدفع هذا الماء فوق الساخن بعد ذلك إلى مبادل حرارى خاص ، وهناك يتبادل حرارته مع تيار آخر من الماء فيحوله إلى بخار .

ويتضح من ذلك أن هذا النوع من المفاعلات يحتوى على دورتين للماء ،



شكل ٤ ـ ٤ « مفاعل الماء المضغوط »

دورة أولية يستخدم فيها الماء فى سحب الحرارة العالية لقلب المفاعل دون أن يغلى ، ثم يدفع إلى مبادل حرارى ، وبعد أن يبرد إلى حد ما يضخ إلى قلب المفاعل مرة أخرى ، ودورة ثانوية منفصلة تماما يدفع فيها الماء إلى المبادل الحرارى ليسخن ويتحول إلى بخار .

والمفاعل النووى الموجود بولاية بنسلفانيا فى الولايات المتحدة والمعروف باسم « **ثرى مايلز أيلاند** » ، مفاعل من هذا النوع ، وقد تعرض هذا المفاعل عام ١٩٧٩ لحادث خطير نتيجة لفشل إحدى المضخات التى تدفع الماء فى دورة البخار ، وهو الماء الذى يقوم بتبريد الماء فوق الساخن المضغوط قبل عودته إلى المفاعل ، وقد هدد ذلك بارتفاع درجة حرارة قلب المفاعل الى حدود خطيرة .

أما النوع الثانى من المفاعلات النووية فيعرف باسم « **مفاعل الماء المغلى** » « **Boiling Water Reactor** » ، ولايحتوى هذا النوع على مبادل حرارى ولا على دورة ثانوية للماء ، وذلك لأن الماء المستعمل فى تبريد المفاعل هو نفسه الذى يغلى ويتحول إلى بخار ، ويستخدم فى إدارة التربينات لتوليد الكهرباء .

ويمكن استخدام الغازات فى تبريد المفاعلات النووية ، ومن أمثلة هذه الغازات ثانى أكسيد الكربون أو غاز الهليوم . وقد استخدم غاز ثانى أكسيد الكربون لتبريد بعض المفاعلات النووية فى فرنسا وبريطانيا ، وفى مثل هذه الحالات يستخدم الجرافيت فى تهدئة التفاعل المتسلسل وإبطاء سرعة النيوترونات ، وبعد أن يسخن الغاز وترتفع درجة حرارته ، يدفع إلى مبادل حرارى لتسخين الماء وتحويله إلى بخار .

ولا تعتبر طريقة تبريد المفاعلات بالغازات طريقة مثالية ، ومع ذلك فقد بدأت المفاعلات المبردة بالغاز تلقى شيئا من الاهتمام هذه الايام ، وتستخدم فيها كريات صغيرة جدا من السيراميك ، يقل قطر الواحدة منها عن المليمتر ، وتغطى هذه

الكريات بطبقة من الجرافيت وكربيد السليكون ثم توضع داخل أنبوب من الأسمنت المضغوط لحماية قلب المفاعل .

ويتمتع المفاعل المبرد بالغاز بقلب ضخم منخفض الحرارة ، وقد يستغرق قلب المفاعل عدة ساعات كى ترتفع درجة حرارته إلى حدود خطيرة تضر بالوقود ، حتى انه يقال أنه عند حدوث حادث لاحد هذه المفاعلات ، فان المسئولون عن سلامة وأمن المفاعل سيجدون وقتا كافيا لاحتساء فنجان من القهوة اثناء تفكيرهم فى حل المشكلة .

وقد أستخدمت بعض الفلزات المنصهرة ، مثل فلز الصوديوم ، فى تبريد قلب المفاعلات النووية ، ويعتبر فلز الصوديوم الذى ينصهر عند ١٠٠°م تقريبا ذو كفاءة عالية فى نقل الحرارة كما أنه قليل التكاليف .

وتعمل المفاعلات التى تبرد بفلز الصوديوم عند درجة حرارة مرتفعة مما يزيد من فاعليتها ، وذلك لان فلز الصوديوم يغلى فى درجة حرارة أعلى بكثير من درجة غليان الماء ، ولهذا السبب لايحتاج الأمر إلى وجود ضغط مرتفع فى قلب المفاعل ، بل يكون الضغط فى داخل المفاعل قريبا من الضغط الجوى المعتاد .

وتعتبر هذه ميزة كبرى فالضغط فى المفاعلات التى تستعمل الماء يتراوح بين ٧٠ ـ ١٤٠ كيلو جرام على السنتيمتر المربع ، ولذلك فانه إذا حدث تسرب ما ، فان بخار الماء سيندفع إلى الخارج تاركا الوقود لترتفع درجة حرارته الى حد الانفجار ، على حين لانقابل هذه المشكلة فى المفاعلات المبردة بالصوديوم .

ويستخدم الجرافيت فى مثل هذه الحالات لتهدئة سرعة النيوترونات كما أن هناك كذلك بعض الفلزات التى تتصف بقدرتها على أمتصاص النيوترونات وقد شبهت قدرتها العالية على امتصاص النيوترونات بقدرة ورق النشاف على إمتصاص الماء .

ومن أمثلة هذه الفلزات ، الكادميوم والبورون والهافنيوم وبعض العناصر الأرضية النادرة .

وعادة ما تصنع هذه العناصر على هيئة قضبان أو شرائح يمكن تحريكها بحيث يمكن انزالها فى قلب المفاعل النووى أو رفعها منه .

وتساعد هذه الشرائح أو القضبان عند إدخالها فى قلب المفاعل على إمتصاص جزء كبير من النيوترونات فتؤدى إلى تهدئة التفاعل المتسلسل . ويمكن إيقاف عمل المفاعل النووى كلية عند انزال عدد كبير من هذه الشرائح أو القضبان إلى قلب المفاعل .

وهناك كثير من إجراءات الأمن التى يلزم اتخاذها لتجنب حدوث الاخطار أو الكوارث ، فهناك مراقبين دائمين يعملون طوال اليوم فى غرف مراقبة خاصة تعرف باسم غرف التحكم ، تكون مهمتهم المراقبة الدقيقة والدائمة لجميع تفاصيل العمل فى المفاعل ، كما يمكنهم عند اللزوم ، إيقاف التفاعل المتسلسل فى قلب المفاعل عند الاشتباه فى أى عطل طارىء .

وعادة مايتم التحكم فى المفاعل بطريقة آلية ، فيتم إنزال القضبان المهدئة إلى قلب المفاعل آليا عند زيادة معدل الانشطار عن المعدل المطلوب ، أو ارتفاع درجة الحرارة فى قلب المفاعل عن حد الامان . ويمكن كذلك اسقاط بعض كرات من هذه الفلزات السابقة فى قلب المفاعل لاحداث نفس الأثر .

وأغلب المفاعلات النووية لها أنظمة مساعدة لتبريد قلب المفاعل . وعادة ما تكون هذه الأنظمة الاحتياطية عالية الكفاءة وهى تستعمل فقط فى حالات الطوارىء ، مثلما يحدث عندما يقل سريان الماء داخل المفاعل ، أو عندما يتوقف سريانه عند فشل إحدى المضخات .

وتتضمن اغلب هذه الأنظمة الاحتياطية وجود دورة منفصلة للماء ، لا علاقة لها بدورة ماء المفاعل نفسه ، وتستطيع مثل هذه الأنظمة أن تغرق قلب المفاعل بالماء فى الحال لتبريده ومنعه من الانصهار ، كما أنها تحول دون انتشار الاشعاع الضار خارج قلب المفاعل .

وتقام المفاعلات النووية عادة فى داخل أبنية خاصة شديدة الاحكام ولاتسمح بتسرب الاشعاعات الى الوسط المحيط بها ، كذلك تقام هذه المفاعلات فى أماكن منعزلة نسبيا وبعيدة عن الأماكن الآهلة بالسكان .

تخصيب وقود المفاعل

يمكن للوقود النووى المستعمل فى المفاعلات النووية التجارية ، والمخصب الى حد ما ، أن يجعل هذه المفاعلات تعمل بكفاءة لعدة سنوات وإن كان يفضل دائما أن يعاد تخصيب الوقود المستعمل على فترات .

ومن الملاحظ أن كفاءة المفاعل النووى تقل دائما بمرور الزمن ، ولذلك فانه من المتبع حاليا فى أغلب الحالات ، تجديد الوقود النووى أو تخصيبه كل عام ، ولايجدد الوقود النووى كله ، بل يكتفى عادة بتجديد ثلث الوقود المستخدم للحصول على الكفاءة المطلوبة .

وتقل عادة كفاءة الوقود النووى بشكل ملحوظ عندما تصل نسبة انشطار ـ

الذرات الى نحو ٤٪ من مجموع ذرات المادة المستعمله كوقود ، وذلك لأن هذه الذرات تتحول عند إنشطارها إلى عناصر أخرى غير مشعة ، وعندما تصل نسبة ذرات هذه العناصر الى هذا الحد ، تبدأ فى إمتصاص كثير من النيوترونات السريعة الناتجة من الوقود الاصلى ، مما يقلل من معدل التفاعل المتسلسل ويقلل من كفاءة المفاعل النووى .

مفاعلات توليد الوقود : "Breeder Reactors"

هناك بعض انوع المفاعلات التى قد تنتج من الوقود النووى أكثر مما تستهلك . وتعرف هذه المفاعلات باسم **مفاعلات النمو** ، أو **مفاعلات توليد الوقود النووى** . وقد يبدو هذا غريبا لأول وهلة ، ولكن هذه المفاعلات يستخدم فيها اليورانيوم ٢٣٥ ، وينتج فيها وقود نووى آخر هو البلوتونيوم .

وتحقق لنا هذه المفاعلات مزيدا من الأمل فى امتداد أجل ما تمدنا به الأرض من العناصر المشعة ، خاصة وإن اليورانيوم الموجود طبيعيا يقدر له أن ينتهى ويستهلك فى النصف الأول من القرن القادم .

وقد بنى أول مفاعل لتوليد الطاقة النووية فى الولايات المتحدة عام ١٩٥١ ، وكان هذا المفاعل من النوع الذى يتولد فيه الوقود النووى .

وقد استخدم فى هذا المفاعل غلاف من عنصر اليورانيوم ٢٣٨ يحيط بقلب المفاعل المحتوى على اليورانيوم ٢٣٥ ، وعندما تعرض هذا الغلاف للنيوترونات فائقة السرعة الناتجة من انشطار الذرات فى قلب المفاعل ، تحول اليورانيوم ٢٣٨ الموجود بالغلاف إلى بلوتونيوم ٢٣٩ .

وقد بنيت بعد ذلك عدة مفاعلات من هذا النوع فى كل من بريطانيا وفرنسا وألمانيا والاتحاد السوفيتى واليابان ، ويعتبر المفاعل الفرنسى المسمى « **فينكس** » "Phénix" من أنجح هذه المفاعلات ، فهو ينتج البلوتونيوم ٢٣٩ بالاضافة الى توليد نحو ٢٥٠ مليون وات من الكهرباء . وقد قامت فرنسا بعد ذلك ببناء مفاعل اكبر من نفس هذا النوع ، تبلغ قدرته نحو ١٫٢ بليون وات .

ولم تهتم الولايات المتحدة ببناء مفاعلات توليد الوقود النووى ، وذلك بسبب المعارضة الشديدة التى لاقتها فكرة تحويل اليورانيوم ٢٣٨ الى البلوتونيوم .

ويرى المعارضون لهذه الفكرة ان البلوتونيوم الناتج قد يقع تحت يد بعض الجماعات المتطرفة التى قد تستطيع الاستيلاء عليه بطرقها الخاصة ، أو قد يسلم

تحت بعض الظروف السياسية الخاصة ، لبعض الدول الأخرى لتستخدمه فى صنع السلاح النووى .

وبصفة عامة ، فقد قل الحماس كثيرا لاقامة هذا النوع من المفاعلات بسبب ارتفاع تكلفتها ، وصعوبة اتخاذ احتياطات الأمن فيها .

استخدامات الطاقة النووية

توفر الطاقة النووية المستخدمة اليوم قدرا ضئيلا من جملة الطاقة المستخدمة فى العالم ، لا يزيد على ١٪ ، ومع ذلك فقد ساهمت الطاقة النووية بقدر أكبر فى قطاع الكهرباء ، وبلغت هذه النسبة نحو ٩٪ من الكهرباء المولدة فى العالم عام ١٩٨٣ ، ومن المتوقع أن تزداد هذه النسبة كل عام نظرا لقيام كثير من الدول ببناء مفاعلات ومحطات نووية جديدة بها .

وقد استخدمت الطاقة النووية فى تسيير السفن منذ عام ١٩٥٤ ، وذلك عندما قامت الولايات المتحدة بإنزال أولى غواصاتها النووية فى البحر ، وهى الغواصة المسماة «نوتيلوس» "Nautilus"

وتساعد المحركات التى تعمل بالطاقة النووية على بقاء الغواصات مدة طويلة تحت سطح الماء قد تصل الى عدة شهور ، وتمكنها بذلك من القيام برحلات طويلة حول العالم دون الحاجة إلى اللجوء إلى الموانىء للتموين بالوقود .

وقد قامت كل من الولايات المتحدة والاتحاد السوفيتى ببناء اعداد كبيرة من هذه الغواصات النووية ، وهى تجوب حاليا مياه البحار والمحيطات .

وقد تم كذلك بناء أنواع أخرى من السفن التى تسير بالطاقة النووية ، فلدى الاتحاد السوفيتى كاسحة جليد تسير بالطاقة النووية ، كما أن لدى الولايات المتحدة حاملات طائرات نووية .

وقد قامت الولايات المتحدة ببناء اولى السفن التجارية التى تسير بالطاقة النووية عام ١٩٥٩ ، وأطلق عليها اسم « سفانا » "Savannah" وقد تبين بعد ذلك ان مثل هذه السفن تتكلف كثيرا ، وتزيد تكاليف تسييرها على تكاليف تسيير غيرها من السفن المعتادة ، ولذلك اعتبرت مشروعا تجاريا غير ناجح ، وأوقف العمل بهذا المشروع عام ١٩٧١ .

وللمفاعلات النووية فوائد أخرى غير توليد الكهرباء ، فبعض هذه المفاعلات تستخدم فى تحضير بعض النظائر المشعة التى لا توجد فى الطبيعة ، وتستعمل هذه

النظائر المشعة فى الطب لعلاج بعض الأمراض ، وفى اكتشاف بعض الأورام وتدمير بعض الخلايا السرطانية .

كذلك يمكن استخدام هذه النظائر المشعة فى كثير من التفاعلات الكيميائية والبيولوجية لمتابعة سير هذه التفاعلات ، وفهم بعض ما يدور فيها ، ومن أمثلة ذلك استخدام الكربون المشع والفوسفور المشع فى تتبع عمليات البناء فى النباتات ، واستخدام بعض هذه النظائر فى تتبع حركة التيارات والمياه العميقة فى البحار والمحيطات .

كذلك استخدمت بعض هذه النظائر المشعة فى الصناعة للكشف عن بعض الأخطاء التى قد تحدث فى عمليات التصنيع ، أو للكشف عن بعض الشروخ الدقيقة فى اللحامات المعدنية .

وقد قوبل استخدام الطاقة النووية بكثير من المعارضة فى كثير من الدول ، وقد أدت هذه المعارضة الشديدة الى تأخر بناء المفاعلات النووية ، وقد حدث ذلك فى جمهورية مصر العربية كما حدث فى الولايات المتحدة ، وقامت بعض المسيرات المناهضة لاستخدام الطاقة النووية فى دول اوربا وغيرها من البلدان .

وبالرغم من كل هذه المعارضة فقد تم بناء هذه المفاعلات الجديدة ، وهى تساهم حاليا فى انتاج نحو ٩٪ من كهرباء العالم ، أى أنها تولد نحو ١٠٤,٨٢٣,٠٠٠,٠٠٠ وات على التقريب .

وهناك نحو ١٦٣ مفاعلا نوويا جديدا تحت البناء فى دول كثيرة كما فى فرنسا واليابان وغيرها ، ومن المنتظر ، رغم المعارضة الشديدة ، ان تستخدم الطاقة النووية فى توليد الكهرباء فى كل مكان فى السنوات القليلة القادمة بعد التقدم المتوقع حدوثه فى تكنولوجيا المفاعلات النووية .

استخدام الطاقة النووية فى جمهورية مصر العربية

لعل من أبرز انعكاسات أزمة الطاقة التى صاحبت الحرب فى منطقة الشرق الأوسط ، والتى ارتبطت بعام ١٩٧٣ ، انها دقت ناقوس الخطر ونبهت دول العالم أجمع إلى خطورة النقص فى واردات البترول ، وإلى أن موارد الطاقة التقليدية مثل الفحم وزيت البترول والغاز الطبيعى ، التى كان ينظر اليها على أنها غير محدودة ، هى فى واقع الأمر محدودة إلى حد كبير ، ويخشى أن تكون فى طريقها إلى النضوب .

وقد بدأ المجتمع المصرى مثل غيره من المجتمعات البشرية فى الاحساس

بمشكلة الطاقة فى خلال النصف الثانى من هذا القرن ، خاصة بعد حرب اكتوبر ١٩٧٣ .

وقد كانت احتياجات المجتمع المصرى من الطاقة احتياجات متواضعة ، فقد كان معدل استهلاك الفرد من الطاقة فى النصف الأول من هذا القرن لا يزيد على ٥٠ كيلو وات ساعة فى العام ، ولكن هذه الصورة قد اختلفت كثيرا هذه الأيام حيث بلغ معدل استهلاك الطاقة بالنسبة لكل فرد فى عام ١٩٨٦ نحو ٦٤٠ كيلو وات ساعة فى العالم .

وترجع الزيادة فى استهلاك الطاقة خلال النصف الثانى من هذا القرن الى تلك التغيرات الاجتماعية والاقتصادية التى طرأت على قطاعات مختلفة من المجتمع المصرى ، بجانب امتداد الكهرباء الى عدد هائل من قرى الريف المصرى ، مما يسر للكثيرين استخدام مختلف الأدوات الكهربائية مثل أجهزة التليفزيون والثلاجات وآلات الغسيل ، وهى أدوات تستهلك قدرا كبيرا من الكهرباء ومن الطاقة على مدار العام .

كذلك تزايد استهلاك الطاقة فى جمهورية مصر العربية نتيجة للنمو الصناعى الذى تحقق فى مصر خلال الثلاثين عاما الماضية ، وظهور بعض الصناعات الجديدة التى تستهلك قدرا كبيرا من الطاقة ، مثل صناعة الألومنيوم وصناعات الأسمدة والحديد والصلب والأسمنت وما شابهها .

وقد استخدمت مصر المصادر المائية فى انتاج الكهرباء منذ عام ١٩٠٥ من خزان اسوان المقام على نهر النيل ، واقيمت عليه محطات لتوليد الكهرباء ، ثم أنشىء السد العالى وأقيمت عليه عدة تربينات لتوليد الكهرباء وفرت قدرا كبيرا من الطاقة للمصانع فى المناطق المحيطة بها ، وتم نقل جزء من هذه الطاقة ايضا الى شمال الوادى .

وحتى عام ١٩٧٨ ، كانت محطات الكهرباء المقامة على السدود المائية فى مصر توفر نحو ٦٥٪ من الطاقة الكهربائية ، بينما قامت المحطات الحرارية بتوفير ما تبقى من الطاقة الكهربائية المطلوبة .

ونظرا للاحتياج المتزايد للطاقة فى السنوات الأخيرة ، فقد تطلب الأمر انشاء عدة محطات حرارية جديدة لانتاج الكهرباء فى مصر .

وتستخدم هذه المحطات الحرارية انواع الوقود التقليدية ، مثل الفحم او البترول او الغاز الطبيعى ، وقد القى ذلك عبئا ثقيلا على المصادر الطبيعية للطاقة فى مصر .

وقد قدر استهلاك الكهرباء فى جمهورية مصر العربية عام ١٩٨٦ بنحو ٣٢ مليار كيلو وات ساعة فى العام ، ومن المتوقع ان يزداد استهلاك الكهرباء زيادة كبيرة فى الأعوام القادمة بحيث يصل الى ما يقرب من مائة مليار كيلو وات ساعة فى السنة حتى عام ٢٠٠٠ .

وقد تعددت الدراسات التى اجريت فى هذا المجال ، وكان الهدف منها البحث عن انسب الطرق التى نستطيع بها ان نوفر نحو ٧٠ مليار كيلو وات ساعة فى العام من الكهرباء حتى عام ٢٠٠٠ ، وقامت بهذه الدراسات كثير من الجهات المتخصصة مثل هيئة كهرباء مصر ، ومؤسسة الطاقة النووية ووزارات الكهرباء والبترول والرى والتخطيط ، واشترك فيها عدد كبير من اساتذة الجامعات والعلماء والمتخصصين .

وقد تضمنت هذه الدراسات المفاضلة بين استخدام المحطات الحرارية والمحطات النووية فى هذا المجال ، مع بيان امكانية استخدام المساقط المائية او الطاقة الشمسية فى هذا الخصوص .

وقد تبين من هذه الدراسات ان مصر قد استنفدت تقريبا كل ما لديها من المصادر المائية لانتاج الكهرباء ، وأن اقامة بعض المحطات الجديدة على قناطر اسنا او نجع حمادى او خزان اسيوط لن يعطينا من الطاقة الكهربائية اكثر من ٢٠٠ ميجاوات ، وهو قدر صغير جدا بالنسبة للطاقة المطلوبة على مستوى الجمهورية حتى عام ٢٠٠٠ ، بالاضافة الى ان اقامة مثل هذه المحطات يتطلب تجديد بعض هذه القناطر مما يزيد من تكلفتها الى حد كبير .

اما بالنسبة لمشروع منخفض القطارة الذى يقع فى الشمال الغربى من جمهورية مصر العربية ، فقد صرف النظر عن استكماله لارتفاع تكلفته التى قدرت بنحو ثلاثة مليارات من الدولارات وقد تصل الى اكثر من ذلك اثناء تنفيذه بينما لن تعطى محطة الكهرباء المزمع اقامتها على هذا المنخفض اكثر من ٢ مليار كيلو وات ساعة فى العام ، وهو قدر لا يتناسب مع التكلفة المرتفعة للمشروع .

وقد قدرت الطاقة التى يمكن الحصول عليها من المصادر المائية حتى عام ٢٠٠٠ ، بأنها لن تتعدى بأى صورة من الصور ١٣ مليار كيلو وات ساعة فى السنة .

وإذا اخذنا فى الاعتبار استخدام زيت البترول فى توليد الطاقة الكهربائية ، نجد ان محطات الكهرباء التى تعمل حاليا فى جمهورية مصر العربية قد استهلكت ما يزيد على ٤ ملايين طن من البترول عام ١٩٨٤ ، بالاضافة الى نحو ١,٥ مليون

طن من الغاز الطبيعى لانتاج نحو ١٣ مليار كيلو وات ساعة فى السنة .

ولو تم الاعتماد على المحطات الحرارية التى تدار بزيت البترول لانتاج الطاقة الكهربائية اللازمة لجمهورية مصر العربية حتى عام ٢٠٠٠ ، والتى تقدر بنحو ٧٠ مليار كيلو وات ساعة فى السنة ، لاحتاج الأمر الى استخدام قدر كبير من زيت البترول يصل الى نحو ٢٦ مليون طن أو أكثر فى العام ، وهو قدر هائل من البترول يعتقد انه لن يكون متوفرا فى مصر نظرا لأن الاحتياطى الحالى من زيت البترول يقدر له ان ينضب فى نهاية هذا القرن .

واذا اخذنا فى الاعتبار احتياجات القطاعات الأخرى من البترول مثل قطاع الصناعة وقطاع النقل وما الى ذلك ، يتضح لنا اننا سنحتاج الى ما يقرب من ٧٠ مليون طن من زيت البترول سنويا لكل هذه القطاعات ، وإذا لم يتم استكشاف مصادر جديدة للبترول فى مصر ، فإن ذلك سيتطلب عندئذ استيراد كل هذه الكمية الهائلة من البترول من الخارج ، مما سيلقى عبئا هائلا على الامكانيات المالية لمصر .

واذا استخدم الغاز الطبيعى فى توليد الكهرباء فى جمهورية مصر العربية ، فاننا نجد ان قطاع الكهرباء يستهلك حاليا نصف كمية الغاز الطبيعى الذى تنتجه البلاد على التقريب ، وليس من المتوقع زيادة كميات الغاز الطبيعى المستخدمة فى توليد الكهرباء نظرا لاحتياج القطاعات الأخرى لهذا الغاز كما فى صناعات الأسمدة والأسمنت والحديد والصلب ، بالاضافة الى التوسع المنتظر فى استخدام الغاز الطبيعى كوقود فى المنازل بديلا للبوتاجاز توفيرا لما يستورد منه بالعملة الحرة من الخارج .

وفى افضل الظروف ، فإن ما يمكن تخصيصه من الغاز الطبيعى لقطاع الكهرباء حتى عام ٢٠٠٠ لن يزيد على ٣,٥مليون طن على اكثر تقدير ، وهو قدر لا يكفى الا لتوليد نحو ١٠ ـ ١٢ مليار كيلو وات ساعة فى السنة فقط .

وعند دراسة امكانية استخدام الفحم فى توليد الكهرباء فى الأعوام القادمة ، نجد ان احتياطيات الفحم المؤكدة والموجودة بمناجم شبه جزيرة سيناء لا تتعدى ٣٥ مليون طن على اكثر تقدير ، ولن يزيد ما يمكن استخراجه منها كل عام على ٦٠٠ ألف طن .

ولن يتاح من هذا الفحم لقطاع الكهرباء الا النصف فقط أى ٣٠٠ ألف طن كل عام ، وذلك لأن بعض القطاعات الأخرى مثل شركة الكوك والكيماويات الأساسية تحتاج الى اكثر من نصف كمية المستخرج منه كل عام .

وهذا القدر الصغير من الفحم المتاح لمحطة الكهرباء لا يمثل شيئا يذكر بالنسبة لاحتياجات المحطات المتوسطة لتوليد الكهرباء ، فمحطة توليد الكهرباء التى تصل قدرتها الى ١٠٠٠ ميجاوات ، تستهلك ما يقرب من ٢,٨ مليون طن من الفحم فى العام ، وبذلك فان الاعتماد على استخدام الفحم المنتج محليا ، وقدره ٣٠٠ ألف طن ، سيتطلب استيراد نحو ٢,٥ مليون طن من الفحم لتشغيل محطة كهرباء بهذا القدر ، وتبلغ قيمة هذا الفحم المطلوب استيراده من الخارج نحو ٢٥٠ مليون دولار على الأقل اذا ثبت سعر طن الفحم عند ١٠٠ دولار فقط .

وتتطلب احتياجات جمهورية مصر من الكهرباء اقامة عدة محطات كبيرة لتوليد الكهرباء ، فاذا فرضنا ان الأمر يتطلب اقامة خمس محطات من هذا النوع ، فإن كمية الفحم المطلوب استيراده ستصل الى نحو ١٤ مليون طن وتبلغ قيمتها ما يزيد على ١,٤ مليار من الدولارات بالأسعار الحالية ، والتى ينتظر ان تزداد كثيرا فى عام ٢٠٠٠ .

كذلك يتطلب استيراد الفحم من خارج البلاد اقامة موانىء خاصة لاستقبال هذا الفحم ، أو على الأقل اعداد أرصفة جديدة فى الموانىء الحالية مع انشاء مخازن خاصة بها وانشاء شبكة من الطرق الواسعة وخطوط جديدة للسكك الحديدية حتى يمكن مجابهة الكميات الضخمة من الفحم الواردة من الخارج ونقلها الى محطات الكهرباء التى تتوزع فى أنحاء العالم .

وستحتاج كل هذه العمليات بالاضافة الى ضرورة توفير بعض وسائل النقل الثقيل الى تدبير نحو ١٠ مليارات اخرى من الدولارات يتعين اضافتها الى القيمة الاجمالية لتكلفة محطات توليد الكهرباء التى تدار بالفحم .

وهناك مشاكل جانبية تصاحب استخدام الفحم او زيت البترول فى تشغيل محطات الكهرباء ، وهى المشاكل المتعلقة بتلوث البيئة نتيجة لتصاعد بعض غازات اكاسيد النتروجين وثانى اكسيد الكبريت ، ولابد من التخلص من هذه الغازات حفاظا على صحة الانسان ، ويتطلب ذلك تزويد مثل هذه المحطات الحرارية بأنواع خاصة من التجهيزات التى تستطيع امتصاص هذه الغازات الضارة .

ويؤدى ذلك الى ارتفاع تكلفة المحطات الحرارية لتوليد الكهرباء بمقدار ١٥٪ على الأقل من تكلفتها الأساسية ، ويجب اخذه ـ كذلك ـ فى الاعتبار عند حساب تكلفة هذه المحطات .

ويبدو من كل هذه الدراسات ان انتاج القدر اللازم من الكهرباء حتى عام ٢٠٠٠ فى جمهورية مصر العربية ، لن يتحقق الا ببناء بعض المحطات النووية

لتوليد الكهرباء ، وانه اذا اريد توفير قدر من الكهرباء يصل الى نحو ٧٠ مليار كيلو وات ساعة فى العام ، فان الأمر يستلزم اقامة خمس محطات نووية على الأقل قدرة كل منها ١٠٠٠ ميجاوات .

وقد تبين من هذه الدراسات ان تكاليف انتاج الكيلو وات ساعة من الكهرباء على اساس اسعار التكلفة التى اعلنتها الوكالة الدولية للطاقة النووية فى فيينا ، من المفاعل النووى الذى قدرته ١٠٠٠ ميجاوات ، لا تزيد على ٤,٢ سنت امريكى ، بينما تصل هذه التكلفة فى حالة المحطة الحرارية التى تدار بالفحم ، ولها نفس القدرة السابقة ، حوالى ٦,٣٣ سنت امريكى وإلى ٦,٥ سنت اذا كانت المحطة تدار بالبترول .

ويتضح من ذلك ان سعر انتاج الكيلو وات ساعة فى المحطة الحرارية يزيد بمقدار ٣٥٪ على تكلفة الكيلو وات ساعة الناتج من المحطة النووية .

ويعنى ذلك ان المحطة النووية التى تبلغ قدرتها ١٠٠٠ ميجاوات ، توفر نحو ١٣٠ ـ ١٤٠ مليون دولار فى العام عن المحطة الحرارية المماثلة لها وتدار بالفحم ، وتوفر حوالى ١٧٠ مليون دولار بالنسبة للمحطة الحرارية التى تدار بالبترول .

وإذا فرضنا ان العمر الافتراضى للمحطة النووية يصل الى ٣٠ عاما ، فإن اجمالى الوفر يبلغ حوالى ٤,٢ مليار خلال هذه الفترة وهو مبلغ ضخم يمكن استغلاله فى تجديد المحطة النووية .

ويرى المعارضون لاقامة المحطات النووية ، أن حدوث خلل فى بعض اجزائها قد يؤدى الى تسرب الاشعاع النووى من هذه المحطات وتلويث البيئة المحيطة بها ، ولكن المؤيدين لاقامتها يرون انه لا بديل عنها اذا اريد توفير الطاقة الكهربائية المطلوبة فى جمهورية مصر العربية فى الأعوام القادمة ، ومع ذلك فهم يؤكدون على ضرورة اتخاذ احتياطات أمن مناسبة وفعالة ، وأن تقام هذه المحطات بعيدة عن العمران .

استخراج اليورانيوم

يوجد اليورانيوم فى معادن مختلفة خاصة معدن **البتشبلند أو اليورانيت** Pitchblende (uranite) أو فى الكارنوتيت Carnotite أو مختلطا بخامات الفوسفات فى بعض الأماكن .

ونظرا للحاجة الشديدة الى استخراج كميات كبيرة من اليورانيوم فقد جرت هناك بعض البحوث الخاصة بمحاولة استخراجه من مياه البحر ، وقد اقيمت

واحدة من هذه المحطات التجريبية فى اليابان بتكلفة قدرها ١١ مليون دولار .

ويرى العلماء المشرفون على هذه التجارب ان مياه المحيط تحتوى على ثلاثة اجزاء من اليورانيوم فى كل مليار جزء من مياه المحيط ، أى أن بحار العالم تحتوى على نحو اربعة مليارات من الأطنان من اليورانيوم .

ويرى علماء اليابان ان نجاحهم فى استخراج ١٠ كيلو جرامات يورانيوم سنويا من مياه البحر سيساعدهم على تشغيل المفاعلات النووية وسيؤدى الى خفض اعتماد اليابان على البترول المستورد .

وتقوم المحطة اليابانية بسحب ١٧٠٠ طن من مياه البحر فى الساعة عن طريق أنابيب تمتد الى عمق كبير فى مياه البحر ، وبعد تنقية الماء من الشوائب ، يمرر تيار المياه ببطء خلال اوعية بها اكسيد التيتانيوم الذى يساعد على امتصاص اليورانيوم .

ويستخلص اليورانيوم بعد ذلك بطريقة التبادل الأيونى ، مما يؤدى الى استخلاص نسبة تصل الى نحو ٢٨٠٠ جزء من كل مليار جزء ، وهى تصل تقريبا الى نفس نسبة اليورانيوم المستخرج من المناجم .

ولا تزال مثل هذه العمليات فى طور البحوث ، وهى حتى الآن مرتفعة التكاليف ويصل سعر الرطل من اليورانيوم المستخرج بهذه الطريقة الى نحو اربعة اضعاف السعر العادى ، ولكن مع استمرار تقدم البحوث فى هذا المجال ، فانه ينتظر ان تقل تكلفة الخام المستخرج بهذه الطريقة ، والذى يحتاجه اليوم كثير من الدول خاصة بعد تناقص المخزون العالمى من خام اليورانيوم .

طاقة الاندماج النووى

تضمن حديثنا عن الطاقة النووية حتى الآن الطاقة الناتجة من انشطار بعض الذرات الثقيلة مثل ذرات اليورانيوم ٢٣٥ أو البلوتونيوم ٢٣٩ ، ولكن هناك نوعا اخر من التفاعلات النووية يعطى قدرا هائلا من الطاقة عند حدوثه ، وهو لا يتضمن انشطار الذرات كما سبق ان رأينا ، ولكنه يحدث باندماج "Fusion" بعض الذرات الخفيفة معا لتكوين ذرات أثقل منها .

وقد استطاع الانسان استخدام هذه الطاقة الهائلة فى انتاج اسلحة الدمار ، فصنع منها القنابل الهدروجينية ذات القوة التدميرية الهائلة ، ولكنه لم يستطع تذليل هذه الطاقة الهائلة واستغلالها فى توليد الكهرباء او فى الصناعة وغيرها من الأغراض .

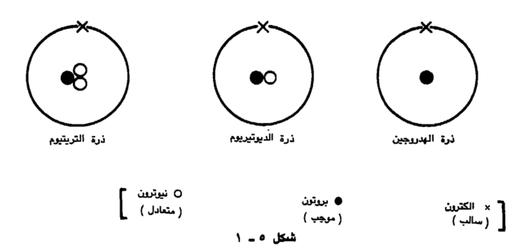
ومن المتوقع ان تؤدى البحوث المتصلة فى هذا المجال الى سيطرة الانسان على هذه الطاقة الهائلة فى السنوات القليلة القادمة ، ومن المؤكد ان هذه الخطوة ستكون من اهم الخطوات التى تساعد على حل مشكلة الطاقة فى القرن القادم ، خاصة وان المصدر الرئيسى لهذه الطاقة هو غاز الهدروجين الذى يمكن الحصول عليه بوفرة هائلة من مياه البحار .

ويمكننا ان نتصور مقدار الطاقة الهائلة التى تنتج من اندماج الذرات ، اذا عرفنا ان حرارة الشمس الهائلة تنتج فى واقع الأمر من اندماج ذرات الهدروجين فى مركزها .

ويتم الحصول على هذه الطاقة الهائلة باندماج ذرات اخف العناصر وهو الهدروجين ، وعادة ما يستخدم فى ذلك ذرات بعض نظائر الهدروجين مثل الديوتيريوم "Deuterium" والتريتيوم "Tritium" .

وذرات كل من الديوتيريوم والتريتيوم اثقل قليلا من ذرات الهدروجين فبينما تتكون نواة ذرة الهدروجين من بروتون واحد موجب الشحنة ، تتكون نواة ذرة الديوتيريوم من بروتون واحد ونيوترون واحد ولذلك يكون وزنها الذرى ٢ .

كذلك تتكون ذرة التريتيوم من بروتون واحد واثنين من النيوترونات ، ولذلك يكون وزنها الذرى ٣ .



شكل ٥ ـ ١

ويمكن الحصول على الديوتيريوم من مياه البحر ، فهناك ذرة واحدة من الديوتيريوم مقابل كل ٦٥٠٠ ذرة من ذرات الهدروجين فى جزيئات ماء البحر .

ويعنى هذا أن مياه البحار والمحيطات تحتوى على ملايين الملايين من ذرات الديوتيريوم ، وبذلك يصبح لدينا مصدرا لا يفنى من هذا العنصر ، يمكن أن يوفر لنا احتياجاتنا من الطاقة لعدة ملايين من السنين .

والطاقة الناتجة من الاندماج النووى طاقة هائلة ، فالكيلوجرام الواحد من أكسيد الديوتيريوم [D_2O] الذى يتركب من ذرتين من الديوتيريوم وذرة واحدة من الاكسجين ، ويعرف باسم الماء الثقيل ، يعطينا طاقة تكافىء الطاقة الناتجة من ألفى طن من الفحم ، أو ما يكافىء الطاقة الناتجة من مليونى لتر من الجازولين .

واحدى الصعوبات الكبرى التى تصادف العلماء فى هذا المجال ، هى كيفية السيطرة على تفاعل الاندماج بحيث يمكن استغلال الطاقة الصادرة منه فى مختلف الأغراض .

وتقع الصعوبة الرئيسية فى أن تفاعل الاندماج يحتاج إلى طاقة كبيرة لبدئه ، فهو يحتاج إلى رفع درجة حرارة ذرات الديوتيريوم أو الهدروجين إلى درجة حرارة عالية تصل إلى ١٠٠ مليون درجة مئوية .

ويمكن التغلب على هذه الصعوبة فى حالة صنع القنبلة الهدروجينية فتستخدم قنبلة نووية عادية لرفع درجة حرارة الهدروجين ، ولا يمكن طبعا أن نفعل ذلك فى المعمل .

وعند تسخين ذرات الهدروجين إلى هذه الدرجة العالية تنشأ عندنا حالة جديدة من المادة تعرف باسم « **البلازما** » "Plasma" .

ومن المعروف أن للمادة حالات ثلاث ، هى الحالة الجامدة ، والحالة السائلة ، والحالة الغازية ، وهى صور للمادة يمكن أن تتحول احداها إلى الأخرى برفع درجة الحرارة أو خفضها . فالماء عند الضغط الجوى المعتاد مثلا يوجد على هيئة الثلج تحت الصفر المئوى ، ويوجد على هيئة سائل بين الصفر المئوى ومائة درجة مئوية ، على حين يوجد على هيئة بخار فى درجات الحرارة التى تزيد على مائة درجة مئوية .

أما عند درجات الحرارة العالية التى نحن بصددها ، والتى تبلغ نحو ١٠٠ مليون درجة مئوية ، فلا يمكن للمادة أن توجد على أى من هذه الصور الثلاث ، ولكنها تتحول إلى ما يسمى بالبلازما ، وهى حالة تكون فيها المادة على هيئة أنوية مفردة والكترونات حرة تتحرك جميعا فى سرعات هائلة .

وهذه هى الحالة التى توجد عليها المادة فى كل النجوم ، وفى شمسنا التى نراها كل يوم حيث تبلغ درجة الحرارة حدا هائلا فى مركز هذه النجوم نتيجة لما يجرى بها من تفاعلات الاندماج النووى .

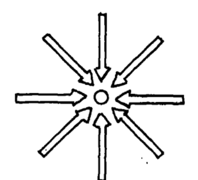
وقد كانت الصعوبة الأخرى التى قابلت العلماء المشتغلين بهذه العمليات ، هو نوع الاناء أو الوعاء الذى نستطيع أن نضع فيه غاز الهدروجين ويستطيع أن يتحمل هذه الحرارة العالية دون أن ينصهر .

ولا توجد لدينا حاليا أى مادة من هذا القبيل ، فجميع المواد المعروفة تنصهر قبل ذلك بكثير ، وأعلى درجة انصهار يمكن الحصول عليها من خليط من كربيد التنتالوم وكربيد الهافنيوم هى ٤٢٠٠°م ، وهى لا تكفى لصنع وعاء يتحمل الحرارة المطلوبة .

وقد فكر العلماء فى طريقتين جديدتين للامساك بهذه البلازما واحتوائها أثناء عملية رفع درجة الحرارة إلى مائة مليون درجة ، وتتلخص احداهما فى استخدام اشعة الليزر لهذا الغرض ، بينما تستخدم الطريقة الثانية مجال مغنطيسى فائق القوة يستطيع قيد هذه البلازما فى مكانها .

طريقة الليزر :

تتلخص هذه الطريقة فى وضع خليط من غازى الديوتيريوم والتريتيوم فى اناء صغير من الزجاج يشبه القرص ، ثم يحاط هذا القرص الزجاجى من جميع جوانبه بمصادر لأشعة الليزر ، بحيث يكون هذا القرص فى مركز هذه المصادر تماما ، وكأنه يقع فى محور عجلة وتترتب حوله المصادر فى كل اتجاه كأسلاك العجلة .



شكل ٥ ـ ٢
مصادر الليزر تحيط بالقرص الزجاجى المحتوى
على الديوتيريوم والتريتيوم

وعند بدء التشغيل ، تخرج من مصادر الليزر دفعات قوية من الطاقة تتركز كلها داخل القرص الزجاجى وتضغط ما به من ديوتيريوم وتريتيوم بقوة هائلة تحفظه فى مكانه ، وترفع درجة حرارته إلى عدة ملايين من الدرجات المئوية فى جزء من مليون جزء من الثانية .

وقد أقيم أحد هذه الأجهزة فى معامل « ليفرمور » بكاليفورنيا بالولايات المتحدة ، واستخدم الباحثون عشرين مصدرا من مصادر الليزر لتركيز نحو ٢٦ مليون وات على قرص صغير من الزجاج قطره ١/٢ مليمتر ويحتوى على خليط من الديوتيريوم والتريتيوم ، وذلك لمدة جزء من عشرة ملايين جزء من الثانية .

وعلى الرغم من القوة الهائلة التى ضغط بها الوقود فى هذه التجربة ، فانها لم تنجح فى بدء تفاعل الاندماج بين كل من الديوتيريوم والتريتيوم ، وذلك لأن درجة حرارة هذا الخليط لم تصل إلى الحد المطلوب وهو ١٠٠ مليون درجة مئوية .

وقد أطلق الباحثون على هذا النظام من مصادر الليزر اسم « شيفا » "Shiva" ، وذلك تشبها باسم أحد آلهة الهندوس ذات الأذرع المتعددة .

ويجرى حاليا فى نفس هذه المعامل السابقة استحداث نظام أقوى من مصادر الليزر أطلق عليه اسم « نوفا » "Nova" وهو اسم يطلق عادة على النجوم التى تنفجر بقوة هائلة ، وذلك تشبيها لهذا النظام الجديد بالطاقة الهائلة المنبعثة من هذه النجوم عند انفجارها . ومن المقدر أن تكون القوة الصادرة من هذا النظام الجديد أكبر من قوة نظام شيفا السابق بنحو عشر مرات .

وقد قام عدد آخر من الباحثين بمعامل سانديا الأهلية بنيومكسيكو بالولايات المتحدة ، باستخدام سيال من البروتونات فى هذه التجارب وذلك بدلا من أشعة الليزر ، وتقوم البروتونات موجبة الشحنة ذات الطاقة العالية باعطاء دفعات من الطاقة تقدر بعدة ملايين من الوات .

وتجرى حاليا الاستعدادات فى هذه المعامل لقذف قرص من الزجاج قطره ½ مليمتر ويحتوى على خليط من الديوتيريوم والتريتيوم ، بطاقة عالية قدرها نحو ١٠٠ تريليون وات ، صادرة من اثنين وسبعين مصدرا من مصادر هذه البروتونات ، وقد يؤدى ذلك إلى رفع درجة حرارة الخليط وحدوث تفاعل الاندماج .

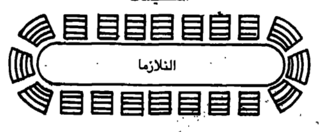
طريقة المجال المغنطيسى :

تقوم هذه الطريقة على استخدام مجال مغنطيسى فائق القوة يحيط بالبلازما ويمسك بها فى مكانها .

وقد أطلق اسم « **القارورة المغنطيسية** » على هذا النظام "Magnetic Bottle" لأنه يستطيع أن يعبىء البلازما فى حيز ثابت ومحدود .

ويمكن صنع هذه القارورة المغنطيسية على صورتين : احداهما تكون فيه هذه القارورة أنبوبية الشكل ، والأخرى تكون فيه على هيئة حلقة مجوفة .

وتترتب المغنطيسات فى الطريقة الأولى بطريقة خاصة بحيث تصنع فيما بينها تجويفا أنبوبى الشكل ، ثم تسد أطراف هذه الأنبوبة بمغنطيسات أخرى فائقة القوة تمنع البلازما من التسرب من هذه الأطراف .



شكل ٥ ـ ٣

وعند تشغيل هذه المغنطيسات ، فإن البلازما المشحونة ، أى التى تحمل شحنة كهربائية ، تندفع بعيدا عن المغنطيسات إلى قلب الانبوبة ، وكأنها تنعكس من على سطح الأنبوبة كما ينعكس الضوء من أسطح المرايا ، ولهذا فقد سمى هذا النظام أحيانا باسم « **المرايا المغنطيسية** » "Magnetic Mirrors"

وتستخدم جسيمات متعادلة الشحنة مثل النيوترونات ، لرفع درجة حرارة هذه البلازما ، وبذلك فانه عند قذف هذه البلازما بنيوترونات عالية الطاقة ، فانها تصطدم بهذه البلازما بقوة وترفع درجة حرارتها إلى حدود هائلة قد تصل بها تحت الظروف المناسبة إلى الحد الذى يحدث عنده تفاعل الاندماج المطلوب .

ويطلق أحيانا على هذه النيوترونات السريعة التى تقذف بها البلازما اسم « الرصاصات » "Bullets" ، وذلك كناية عن سرعتها العالية وقوة اصطدامها الهائلة .

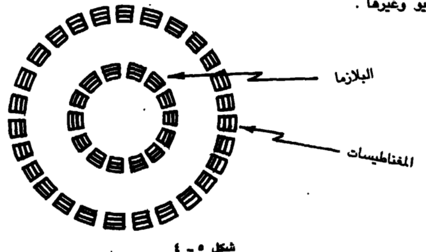
ويلاحظ أن هذه النيوترونات عالية الطاقة ، لا تتأثر بالمجال المغنطيسى المحيط بها ، وذلك لأنها جسيمات متعادلة الشحنة ، ولذلك فهى تخترق البلازما بسرعة فائقة مثل الرصاصات .

وقد استخدم العلماء المجال المغنطيسى فى امساك البلازما وقيدها فى مكانها منذ عام ١٩٥٠ ، ويجرى حاليا بناء نظام متقدم لهذه المرايا المغنطيسية فى كاليفورنيا بالولايات المتحدة .

وهناك طريقة أخرى مشابهة لطريقة المرايا المغنطيسية ، وهى قد تعتبر نموذجا مطورا من هذه المرايا .

ويشبه النظام المستعمل فى هذه الطريقة الكعكة أو الحلقة المجوفة المستديرة ، ويتكون هذا النظام نظريا بثنى الأنبوبة السابقة على هيئة حلقة حتى يلتقى طرفاها .

ويتضح من ذلك أن المجال المغنطيسى فى هذه الحالة يتوزع داخل هذه الكعكة وخارجها ويحيط بها من جميع الجهات . ويشبه هذا النظام فعلا القارورة ولكنها قارورة مغنطيسية تدور فيها البلازما ولا تستطيع مغادرتها ، ويمكن فى هذه الحالة استبدال المجال المغنطيسى بمصادر قوية للتيار الكهربائى أو بموجات الراديو وغيرها .



شكل ٥ ـ ٤
القارورة المغنطيسية او التوكامك

وقد صنع أحد هذه الأنظمة المتقدمة فى الاتحاد السوفييتى وأطلق عليه اسم « **توكاماك** »"Tokamak" ، وقد أصبح ذلك الاسم بعد ذلك علما على هذا النوع من الأنظمة المماثلة التى أقيمت فى بقية الدول بما فيها الدول الغربية .

وقد بدأت الولايات المتحدة عام ١٩٨٠ فى بناء مفاعل توكاماك للاندماج النووى بجامعة برنستون ، وتقدر تكلفته بعد انتهاء العمل فيه بنحو ٥٠٠ مليون دولار ، وينتظر أن يعطى نتائج متقدمة فى هذا المجال .

كذلك هناك محاولات أخرى مماثلة فى أماكن أخرى بالولايات المتحدة ، فيقوم حاليا بعض علماء الفيزياء فى « أوك ريدج » ، بالعمل على استحداث نظام تضغط فيه البلازما فى نبضات أو دفعات متتالية .

كذلك يقوم بعض العلماء فى معامل « لوس آلاموس » بنيومكسيكو بالولايات المتحدة ، ببعض التجارب على نظام جديد لاحداث تفاعل الاندماج ، كما تجرى فى ألمانيا الغربية بعض التجارب على نظام آخر تدور فيه البلازما فى مجال مغنطيسى على هيئة الرقم ثمانية "8" ، وأطلق على هذا النظام اسم « **ستلاريتور** » "Stellerator" .

وتقوم حاليا مجموعة الدول الأوربية بوضع مخطط لانتاج الطاقة من تفاعل الاندماج ، تتعاون فيه عدة دول أوربية ، كما تجرى فى اليابان حاليا مجموعة من التجارب على توكاماك أطلق عليه اسم توكاماك الاندماج اليابانى "JFT–11" ، كما أن هناك خطة لبناء توكاماك آخر أكبر قدرة قد يتكلف بناؤه نحو بليون دولار .

أما الاتحاد السوفييتى ، وكان له فضل السبق فى ابتكار نظام التوكاماك ، فما زال يجرى بعض التجارب المتطورة فى هذا المجال .

وقد بلغ مجموع ما صرفته هذه الدول حتى الآن على البحوث الخاصة بانتاج الطاقة من تفاعل الاندماج النووى ، ما يزيد على بليونين من الدولارات ، ولا تعتبر هذه التكلفة مرتفعة ، فهى لن تضيع سدى إذا نجحت هذه التجارب والبحوث وأدت إلى السيطرة على تفاعل الاندماج وإلى استخلاص الطاقة النافعة منه والتى يمكن استخدامها فى كل الأغراض .

وإذا تحقق ذلك ، فاننا يمكن أن نقول حينئذ أن الانسان قد استطاع لأول مرة فى تاريخه الطويل ، أن يحصل على مصدر مستمر للطاقة رخيص التكاليف ولا يفنى على مر الزمن .

ومن الملاحظ أن تفاعل الاندماج ، عند السيطرة عليه ، سيكون أقل خطرا من تفاعل الانشطار ، وذلك لأن نسبة الاشعاعات الصادرة من تفاعل الاندماج ،

أقل بكثير من تلك الاشعاعات الصادرة من الوقود النووى المعتاد .

كذلك لا توجد هناك أية احتمالات لحدوث انفجار من أى نوع ، وذلك لأنه عند فقد السيطرة على تفاعل الاندماج بأى صورة من الصور ، فان ذلك سيؤدى إلى انخفاض درجة الحرارة وتوقف تفاعل الاندماج كلية .

وعلى الرغم من أن عنصر التريتيوم له اشعاع خفيف ، الا أنه أقل خطورة بكثير من عنصر البلوتونيوم الذى يتكون فى المفاعلات النووية التى تعمل بمبدأ الانشطار ، وقد يصبح الجهاز الذى يجرى فيه تفاعل الاندماج مشعا الى حد ما ، ولكن نسبة الاشعاع التى قد تصدر منه ستكون أقل بنسبة مائة مرة عن الاشعاع الصادر من المفاعل النووى الذى يعمل بمبدأ الانشطار ، والمماثل له فى القدرة .

ويعتقد العلماء أن التوكاماك الذى يبنى حاليا فى الاتحاد السوفييتى والذى يبنى كذلك فى جامعة برنستون بالولايات المتحدة قد يصلان إلى ما يسمى بنقطة التعادل ، وهى النقطة التى تكون فيها الطاقة التى يستهلكها الجهاز مماثلة للطاقة الناتجة منه ، أى أن كلا من هذين الجهازين سيعطى من الطاقة قدر ما يستهلكه منها عند نجاحه فى بدء تفاعل الاندماج .

وسيختلف الموقف كثيرا عندما تتطور هذه الأجهزة فى المستقبل القريب ، عندما يكون توازن الطاقة موجبا ، أى عندما يعطى الجهاز من الطاقة أكثر مما يستهلك .

ومن المقدر أن يحدث ذلك عام ١٩٩٥ ، بعد أن تتطور أجهزة التوكاماك وعندئذ نستطيع أن نقول أن الانسان قد نجح فى استخدام الطاقة الكونية ، وهى طاقة النجوم ، فى تشغيل مصانعه وفى تدفئة منازله ، وقد ينجح بذلك فى التغلب على مشكلة الطاقة الى الأبد .

الاندماج النووى البارد

الاعتقاد الشائع حتى الآن أن اندماج ذرات الهدروجين وتحولها إلى ذرات هليوم ، لا يتم إلا فى وجود قدر هائل من الطاقة ويحتاج إلى درجة حرارة بالغة الارتفاع تصل إلى نحو ١٠٠ مليون درجة مئوية .

وقد تم حديثا اكتشاف طريقة أخرى يمكن فيها لذرات الهدروجين أن تندمج معا ، وتطلق قدرا هائلا من الطاقة ، دون الحاجة إلى رفع درجة حرارة هذه الذرات الى تلك الحدود البالغة الارتفاع .

ففى عام ١٩٤٠ قام العالمين **أندريا سخاروف وف . فرانك** "Andrei Sakharov & F. Frank" باعلان امكانية حدوث مثل هذا الاندماج فى درجات حرارة منخفضة بتأثير بعض الجسيمات الأولية المعروفة باسم « **الميونات** » "Muons" .

ولم تمض عشرة أعوام على هذا الفرض النظرى ، حتى قام **لويس الفاريز** "Louis Alvarez" وبعض زملائه فى جامعة بركلى بالولايات المتحدة ، بملاحظة أول مشاهدة عملية من هذا النوع عندما كانوا يرقبون مسارات بعض الجسيمات النووية فى **الغرفة السحابية** "Cloud Chamber" ، فى اثناء دراستهم لموضوع آخر بعيد كل البعد عن موضوع الاندماج النووى .

وقد لاحظ هؤلاء العلماء ، بمحض الصدفة ، وجود آثار غير معتادة فى الصور الفوتوغرافية للغرفة السحابية ، واستطاعوا تفسيرها بمساعدة عالم آخر يدعى **ادوارد تيلر** "Edward Teller" على انها ناتجة من تفاعلات الاندماج التى تحدث بين بعض الذرات فى وجود الميونات .

وقد عبرَ العالم الفاريز عن هذا الاكتشاف أثناء منحه جائزة نوبل عام ١٩٦٨ بقوله « نحن نعتقد أن مشكلات الطاقة بالنسبة للانسان قد حلت حتى نهاية الزمان » .

و**الميونات** وحدات أولية من وحدات المادة ، وهى توجد طبيعيا فى الأشعة

الكونية الثانوية ، وهى الأشعة التى تنتج من اصطدام الأشعة الكونية الأولية الواردة الينا من أغوار الفضاء بجزيئات الغازات المكونة للهواء فى طبقات الجو العليا .

والميونات جسيمات سالبة التكهرب تشبه الالكترونات فى شحنتها ، إلا أن كتلتها تزيد كثيرا على كتلة الالكترونات ، وقد تصل كتلة « الميون » إلى نحو ٢٠٧ مرات قدر كتلة الالكترون ، وهذه الكتلة الكبيرة هى التى تساعد على عملية الاندماج النووى .

والميونات جسيمات غير ثابتة ، فهى تنحل بسرعة هائلة تصل فى المتوسط إلى نحو جزءين من مليون جزء من الثانية ، ويعتبر هذا الانحلال السريع للميونات أهم عقبة فى طريقة الاندماج النووى البارد .

وقد أجرى منذ ذلك الحين كثير من التجارب على اندماج ذرات الهدروجين بتأثير الميونات ، وتم فى هذه التجارب دراسة تأثير درجات الحرارة على تفاعل الاندماج .

فقد أجريت بعض هذه التجارب فى درجات الحرارة المعتادة وأجرى بعضها الآخر فى درجات حرارة بالغة الانخفاض ، عند درجة حرارة الهدروجين السائل أو الصلب ، أى عند نحو ١٣° « كلفن » (وحدة الحرارة المطلقة) ، وهى تساوى ـ ٢٦٠° مئوية تحت الصفر .

كذلك أجريت تجارب أخرى فى غاز الهدروجين الساخن ، وتبين من مختلف هذه الدراسات أن درجة الحرارة المناسبة لحدوث تفاعل الاندماج النووى فى وجود الميونات ، هى ٩٠٠° مئوية ، وهى درجة حرارة منخفضة جدا بالمقارنة مع درجة حرارة المائة مليون درجة مئوية المطلوبة لحدوث تفاعل الاندماج النووى بالطريقة السابقة ، ولذلك يطلق على هذه الطريقة اسم الاندماج النووى البارد .

ويستخدم فى هذا التفاعل غاز الهدروجين المعتاد ، كما قد يستعمل خليطا من كل من الديوتيريوم والتريتيوم ، وهما من نظائر غاز الهدروجين .

ويحتوى هذا الخليط على ثلاثة أنواع من الجزيئات ، فيتكون أحدها من ذرتين من الديوتيريوم ، ويتكون ثانيهما من ذرتين من التريتيوم ويتكون الثالث من ذرة من كل من الديوتيريوم والتريتيوم .

وعندما يخترق « الميون » هذا الخليط ، فانه يفعل ذلك بسرعة هائلة فى أول الأمر ، ثم يبطىء كثيرا بعد ذلك نتيجة لاصطدامه بالكترونات الذرات .









شكل ٦ - ١ خليط الديوتيريوم والتريتيوم

وينتج عن هذه الاصطدامات أن تترك بعض الالكترونات مداراتها ، وتحل بعض الميونات محلها ، خاصة تلك الميونات التى تصل سرعتها إلى حدود مناسبة .

ونظرا لارتفاع كتلة الميون التى تصل إلى نحو ٢٠٧ مرة قدر كتلة الالكترون ، فان الميونات التى تحل محل الالكترونات فى مداراتها ، تكون قريبة جدا من نواة الذرة التى حلت فيها .

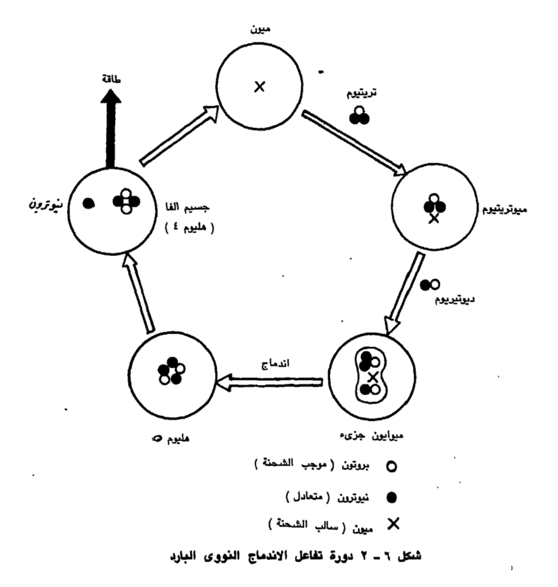
وعندما يتخذ الميون هذا الوضع القريب جدا من النواة ينحل الجزىء وتنفصل ذراته ، ويكون الميون مع نواة الذرة وحدة منفصلة تسمى « ذرة ميون » "Muoatom" ، وتكون هذه الذرة أكثر ثباتا فى حالة التريتيوم لأنها الذرة الأثقل ، وبذلك يكون ارتباط الميون مع نواة التريتيوم أكثر قوة .

وعندما تصطدم ذرة « ميوتريتيوم » مع نواة ذرة ديوتيريوم يتكون منهما « ميو - ايون - جزىء » يندمج إلى نوع من الهليوم يعرف باسم « هليوم ٥ » ، لأنه يحتوى على بروتونين موجبين وثلاثة نيوترونات .

وتنحل نواة « الهليوم ٥ » فى الحال إلى جسيم الفا ، وهى نواة الهليوم العادى ، وتتكون من بروتونين موجبين ونيوترونين متعادلين ، وينطلق فى هذا التفاعل نيوترون حر ، كما ينتج عنه قدر كبير من الطاقة يمكن استغلاله .

ويمكن تمثيل دورة تفاعل الاندماج النووى البارد كما فى شكل ٦ - ٢ .

وهناك كثير من البحوث التى تدور حاليا فى هذا المجال ، فى كثير من الدول ، مثل معامل لوس آلاموس للميزونات بالولايات المتحدة "Los Alamos Meson Physics Facility" "LAMPF" وجامعة برنستون ، وفى المعهد السويسرى للبحوث النووية "SIN" وفى النمسا والمانيا الغربية وفرنسا واليابان .



شكل ٦ ـ ٢ دورة تفاعل الاندماج النووى البارد

كما أن هناك برنامجا دوليا للبحث فى هذا المجال فى جامعة برمنجهام ببريطانيا ، وآخر لبحث بعض المشاكل النظرية المتعلقة به فى جامعة فلوريدا بالولايات المتحدة .

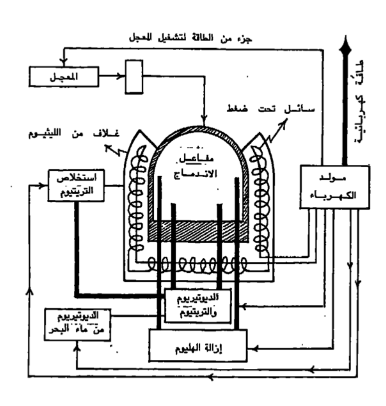
وتتناول بعض هذه البحوث شكل الجهاز الذى يمكن استخدامه للحصول على الطاقة من تفاعل الاندماج النووى بهذا الأسلوب ، بشكل يمكن معه استغلال هذه الطاقة فى الأغراض الصناعية ، وتمت بعض هذه البحوث فى المركز الأوروبى للبحوث النووية "CERN". "Centre Européen de Recherche Nucléaire" وتبين من هذه الدراسات أنه يمكن انتاج الميونات معمليا ، بتوجيه حزمة من الايونات الصادرة من أحد المعجلات النووية إلى هدف من الديوتيريوم والتريتيوم .

وقد قدم « يو بتروف » "Yu Petrov" من علماء معهد لننجراد للطبيعة النووية بالاتحاد السوفيتى ، فى عام ١٩٨٠ ، نموذجا لمفاعل لانتاج الطاقة بواسطة الميونات ، على أساس احداث مائة اندماج نووى لكل ميون .

وقد قدم مجموعة من العلماء فى جامعة تكساس بالولايات المتحدة نموذجا مماثلا لانتاج الطاقة بالاندماج النووى البارد ، والمفاعل المقترح لا تزيد تفاصيله عن التفاصيل المبينة بالشكل التالى .

ويتكون هذا المفاعل من معجل للجسيمات النووية تخرج منه حزمة من الايونات توجه إلى هدف من الديوتيريوم والتريتيوم ، فتتكون حزمة من الميونات .

وتوجه حزمة الميونات الناتجة إلى مفاعل الاندماج الذى يحتوى على خليط من الديوتيريوم والتريتيوم ، وبعد حدوث الاندماج النووى تنطلق النيوترونات الناتجة لترتطم بجدار المفاعل المغلف بغلاف من الليثيوم فيتكون خليط من



شكل ٦ ـ ٣ مفاعل الاندماج النووى البارد

التريتيوم والهليوم ، ويفصل الهليوم وحدة ، ثم يعاد التريتيوم إلى مفاعل الاندماج .

وتستغل الحرارة الناتجة من تفاعل الاندماج النووى فى تسخين سائل يمر تحت ضغط معين فى غلاف المفاعل ، وتحويله إلى بخار مضغوط ، ثم يستخدم هذا البخار فى تشغيل تربين عالى الضغط لانتاج الكهرباء .

ويستعمل جزء من الكهرباء الناتجة فى تشغيل المعمل النووى وفى ادارة مضخات المفاعل بينما يستغل الجزء الاكبر من الكهرباء فى كثير من الاغراض .

ومن المتوقع أن تكلل بالنجاح بحوث الاندماج النووى البارد فى بداية القرن القادم ، ويمكن بذلك استخدام هذه الطريقة فى انتاج قدر كبير من الطاقة ، ولا شك أن ذلك سيساهم إلى حد كبير فى حل مشاكل الطاقة المتوقعة فى بداية القرن الواحد والعشرين .

الموقف من الطاقة النووية اليوم

اشتد الصراع بين مؤيدى استخدام الطاقة النووية الذين يرون أنها حيوية تماما فى عالم اليوم ، وبين أولئك الذين يعارضون استغلال هذه الطاقة ، ويرون فيها خطرا كبيرا .

ويرى المؤيدون لاستغلال الطاقة النووية أن عالم اليوم يحتاج كل شىء فيه احتياجا شديدا لمزيد من الطاقة ، وأن التقدم العلمى والتكنولوجى وارتفاع مستوى معيشة الشعوب سيفرض علينا أن نبحث عن مصادر جديدة للطاقة ، وأن أحد هذه المصادر التى لا غنى عنها سيكون بالضرورة الطاقة النووية .

ويرى هؤلاء المؤيدون أن تكاليف انتاج الكهرباء عن طريق الطاقة النووية ، أقل كثيرا من تكاليف انتاجها من الفحم أو البترول أو الغاز الطبيعى ، فقد جاء فى دراسة قامت بها شركة « **المفاهيم العلمية** » " Science Concept " وهى شركة استشارية بولاية مريلاند بالولايات المتحدة ، أنه لو أن المرافق التى تدار حاليا بالطاقة النووية كانت تدار بالفحم أو بالبترول ،لكان على المستهلكين أن يدفعوا تكاليف اضافية أكثر مما يدفعون حاليا .

ويعتقد هؤلاء المؤيدون أن المصادر التقليدية للطاقة المعروفة لدينا اليوم ، وهى المصادر الحفرية غير المتجددة ، مثل الفحم والبترول والغاز الطبيعى ، لن

تبقى طويلا ، بل من المتوقع أن تنضب هذه المصادر المستخرجة من الأرض خلال السنوات القليلة الأولى من القرن القادم ، فى الوقت الذى قد تكون فيه بعض المصادر المتجددة الأخرى ، مثل الطاقة الشمسية ، وطاقة الرياح ، وحرارة باطن الأرض وغيرها ، ما زالت فى طور البحث والدراسة ، وقد يكون استغلالها باهظ التكاليف أو يصعب استغلالها على نطاق تجارى على أحسن تقدير .

ويرى المعارضون لاستخدام الطاقة النووية أن مستقبل هذه الطاقة مازال مشكوكا فيه لأسباب متعددة ، منها ما يتعلق ببعض آثارها الضارة على البيئة المحيطة بها ، مثل المخاطر التى قد تنشأ عن تسرب الاشعاعات من المفاعلات أو التلوث الحرارى للمجارى المائية ومخاطر التلوث الناشىء عن المخلفات النووية المشعة .

كذلك تواجه الطاقة النووية عائقا كبيرا ، وهو أن كمية اليورانيوم المعروفة لنا حتى اليوم ما زالت محدودة جدا ، فهى لا تزيد على ٤,٣ مليون طن من اكسيد اليورانيوم طبقا لبيانات الوكالة الدولية للطاقة النووية ، وهى تمثل كميات اكسيد اليورانيوم التى تتوافر حاليا بصفة محققة ، ويمكن استغلالها بطريقة اقتصادية وبتكلفة معقولة .

ولا ينتظر أن تكفى هذه الكميات استهلاك ذلك العدد الكبير من المحطات النووية التى تنتشر اليوم فى كل بلدان العالم الا لنحو ٤٠ عاما ، أى حتى عام ٢٠٣٠ على أحسن تقدير .

ويترتب على ذلك أن استغلال الطاقة النووية لا ينتظر أن يدوم بعد تلك الفترة الا إذا تم الاعتماد على المفاعلات المولدة التى تنتج البلوتونيوم ، وهو ما يسبب مزيدا من القلق والتخوف من امكانية استخدام البلوتونيوم فى بعض البلدان لصناعة الأسلحة النووية المدمرة عند اللجوء إلى المفاعلات المولدة .

وهناك اجماع متزايد بصفة عامة على أنه إذا ما أريد للمفاعلات النووية المستخدمة فى انتاج وتوليد الكهرباء ، أن تزدهر وتنتشر ، فانها يجب أن تصبح اكثر بساطة فى تركيبها ، وأقل تكلفة من تكلفتها الحالية ، وألا يرقى الشك إلى سلامتها ابدا حتى يمكن تجنب مخاطر هذه المفاعلات .

وربما كانت تفاعلات الاندماج ، وهى أقل خطورة من تفاعلات الانشطار ، هى الحل الأمثل لانتاج الطاقة النووية فى عالم الغد .

الطاقة الشمسية

تعتبر الطاقة الواردة الينا من الشمس من أهم أنواع الطاقة التى يمكن للانسان استغلالها ، فهى طاقة دائمة ، تشع علينا كل يوم بنفس المقدار ، ولا ينتظر أن تفنى طالما كانت الشمس تشرق علينا كل يوم ، كما أنها تتوفر فى أغلب مناطق سطح الارض .

والطاقة الشمسية طاقة نظيفة ، لا ينتج عن استخدامها غازات أو نواتج ثانوية ضارة بالبيئة ، كما فى حالة أنواع الوقود التقليدية من الفحم وزيت البترول ، ولا تترك وراؤها مخلفات على درجة من الخطورة مثل النفايات المشعة التى تتخلف عن استعمال الطاقة النووية .

ويتدفق من الشمس كل يوم مقادير هائلة من الطاقة على هيئة سيل لا ينقطع ، ولكن سطح الأرض لا يتلقى من هذه الطاقة سوى قدر ضئيل جدا لا يزيد على جزء من الفى مليون جزء من الطاقة الكلية التى تشعها الشمس فى الفضاء ، وذلك لصغر حجم الأرض ، وبعدها الكبير عن الشمس .

وعلى الرغم من صغر هذا القدر من الطاقة بالنسبة للطاقة الكلية الصادرة من الشمس ، إلا أنه يمثل بالنسبة الينا قدرا هائلا يفى بكل احتياجاتنا على سطح الأرض .

ولو أننا حولنا هذه الطاقة الشمسية إلى طاقة كهربائية ، لنتج عن ذلك نحو ٤٠٠٠ مليون كيلووات ساعة فى اليوم الواحد ، وهى كمية هائلة من الطاقة الكهربائية تفى باحتياجات كل سكان الكرة الأرضية مرات ومرات ، وتبلغ نحو ٥٠٠,٠٠٠ مرة قدر الطاقة الكهربائية التى تنتجها دولة صناعية كبرى مثل الولايات المتحدة .

والطاقة الشمسية على درجة قصوى من الأهمية ، فهى لازمة لوجود الحياة على سطح الأرض ، كما أن أنواع الوقود التقليدية مثل الفحم وزيت البترول ما هى الا نتاج لبعض العمليات الطبيعية التى يتم فيها اختزان جزء من طاقة الشمس بواسطة النباتات ، ويعنى ذلك أن الطاقة التى توفرها لنا هذه الأنواع التقليدية من الوقود ، هى اصلا طاقة مستمدة من طاقة الشمس .

ويعنى ذلك أيضا أن الانسان يعتمد على النباتات فى تحويل طاقة الشمس إلى صور أخرى مثل الفحم والبترول يستطيع أن يستغلها فى أوجه نشاطه المختلفة ، ولم يستطع بعد أن يستخدم طاقة الشمس استخداما مباشرا بصورة مرضية .

وفكرة استخدام الطاقة الشمسية فى التسخين أو فى تحريك الآلات ليست جديدة على الاطلاق ، فقد طافت هذه الفكرة بمخيلة بعض المفكرين والفلاسفة منذ قديم الزمان .

ويحدثنا التاريخ أن ارشميدس الذى عاش فى القرن الثالث قبل الميلاد قد استخدم أشعة الشمس فى احراق بعض سفن العدو فى احدى المعارك البحرية ، ومن المعتقد أنه استخدم لهذا الغرض بعض المرايا أو دروع الجنود لتركيز اشعة الشمس على صوارى هذه السفن .

وهناك كثير من الدراسات النظرية المتعلقة باستخدام أشعة الشمس كمصدر للطاقة ، كما أن هناك بعض التجارب العملية التى اجريت فى هذا المجال .

ويرجع تاريخ بعض هذه التجارب إلى القرن التاسع عشر ، ومن أمثلتها آلة بخارية ابتكرها رجل فرنسى يدعى « اوجستين موشو » " Augustin Mouchot " عام ١٨٦٦ ، وكذلك آلة الطباعة التى كانت تدار بالطاقة الشمسية وتم عرضها فى باريس عام ١٨٨٢ .

ولم تلق فكرة استخدام الطاقة الشمسية فى تحريك الآلات قبولا حسنا عند كثير من الناس ، وكان هناك اعتقاد بأنها عملية غير اقتصادية ، وأنها لن تصلح للاستغلال كمصدر للطاقة على نطاق واسع ، وستبقى فوائدها محدودة ، ولن تتعدى مرحلة التجارب العلمية المبتكرة .

وقد تغيرت هذه الفكرة كثيرا فى السبعينات ، وذلك فى اعقاب الحظر على البترول العربى وارتفاع أسعاره فى الأسواق العالمية ، عندما احست الدول الغربية وغيرها من الدول الصناعية بحاجتها الشديدة للبحث عن مصادر جديدة للطاقة .

وقد اعتمدت أغلب هذه الدول ميزانيات ضخمة لبحوث الطاقة ، منذ ذلك الحين ، خاصة وأن هناك احتمالات كبيرة فى نقص انتاج البترول وغيره من أنواع الوقود غير المتجددة ، والتى ينتظر أن تبدأ فى النضوب فى بداية القرن القادم .

وقد أخذت الطاقة الشمسية بذلك وضعها اللائق بين المصادر الجديدة والمتجددة للطاقة ، التى يجب دراستها وتطويرها واستغلالها على أوسع نطاق ،

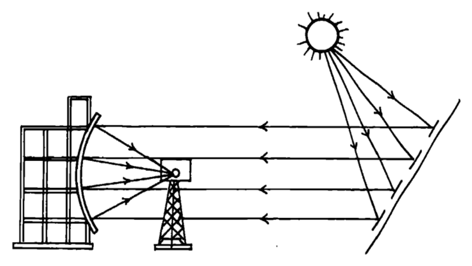
وتعددت الطرق المقترحة للاستفادة من الطاقة الشمسية مثل استخدام المرايا العاكسة لتجميع ضوء الشمس ، أو ابتكار طرق لتجميع حرارة الشمس وآمتصاصها ، أو تحويل ضوء الشمس إلى طاقة كهربائية بواسطة البطاريات الشمسية .

استخدام العاكس الشمسى

تستخدم فى هذه الطريقة بعض المرايا أو الشرائح المعدنية ذات السطح اللامع مثل شرائح الالومنيوم المصقول .

وترتب هذه المرايا أو الشرائح المعدنية بشكل دائرى بحيث يمكن تجميع أشعة الشمس المنعكسة منها فى بؤرة واحدة ، وتصل دجة الحرارة فى هذه البؤرة إلى حدود عالية ويمكن عندئذ استخدامها فى صهر الفلزات أو فى انتاج البخار لتوليد الكهرباء .

وتحتاج هذه الطريقة إلى استخدام تجهيزات معقدة نواعا ما ، ومثال ذلك أن انتاج ٥٠٠ ميجاوات من الكهرباء يحتاج إلى عاكس يتكون من مرايا تبلغ مساحته نحو ٢,٥ كيلو متر مربع يتوسطها برج خاص ارتفاعه ٤٥٠ مترا كى يستطيع أن يتلقى الطاقة المتجمعة فى بؤرة هذا العاكس .



شكل ٧ ـ ١ العاكس الشمسى

وقد أقامت فرنسا مركزا من هذا النوع للاستفادة من الطاقة الشمسية فى جبال البرانس ، وزعت فيه المرايا العاكسة على واجهة مبنى كبير يبلغ ارتفاعه نحو عشرة طوابق ، وأقيم أمام هذا المبنى برج عال بحيث يقع هذا البرج فى بؤرة

المرايا . ويبلغ ارتفاع هذا البرج نحو خمسة طوابق وهو يستقبل الطاقة الشمسية المركزةلاستخدامها فى بعض الاغراض الصناعية .

وقد اقيم مشروع آخر مماثل فى « **البوكيرك** » بولاية نيومكسيكو بالولايات المتحدة . ويشتمل هذا المشروع على برج مرتفع من الصلب والخرسانة ، يبلغ ارتفاعه نحو سبعين مترا من سطح الأرض ، وتحيط بهذا البرج مجموعة من العاكسات الشمسية التى تعرف باسم « **هليوستات** » ، ويبلغ عددها نحو ٢٢٢ وحدة تحمل كل منها ٢٥ مرآة عاكسة ، وهى تركز قدرا من طاقة الشمس يصل إلى ٥ ميجاوات على مستقبلات خاصة تقع عند قمة البرج ، وهو قدر من الطاقة لا بأس به ويكفى لادارة محطة ارسال للراديو .

ووحدات الهليوستات وحدات متحركة ، ويقوم حاسب الكترونى خاص بالتحكم فى حركتها وزواياها بحيث تتبع حركة الشمس طوال اليوم . ويخطط القائمون على هذا المشروع لتطويره لتوليد الطاقة الكهربائية .

وهناك مشروع مماثل أيضا اقيم فى مكان قريب من مدينة « **ويلارد** » بولاية نيومكسيكو بالولايات المتحدة ، تدير فيه الحرارة الناتجة من العاكسات الشمسية توربينا كبيرا يضخ نحو ٧٠٠ جالون من الماء فى الدقيقة الواحدة ، من بئر جوفية ، وتستعمل هذه المياه لرى الأراضى الزراعية المحيطة بهذا المشروع .

كذلك اهتمت سويسرا بمثل هذه المشروعات ، فعهدت إلى « **مؤسسة باتل الدولية** » لتنفيذ مشروعاتها التى تستغل الطاقة الشمسية ، وأهم هذه المشروعات اقامة محطة للطاقة الشمسية فى أعلى جبال الألب ، هذا بخلاف ٤٠ محطة أخرى تنوى حكومة سويسرا بنائها على منحدرات الجبال لتغطى نحو ١٠٪ من احتياجاتها من الطاقة فى نهاية هذا القرن .

تجميع حرارة الشمس

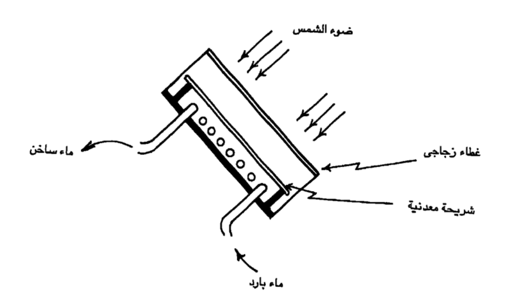
تعتمد هذه الطريقة على امتصاص جزء من الطاقة الحرارية للشمس وتجميعها طوال اليوم لاستخدامها فى عمليات التسخين والتدفئة .

وقد تم ابتكار كثير من الأجهزة البسيطة التى تقوم بهذا الغرض ، واستعمل بعضها حديثا فى المنازل وفى الفنادق والمتاجر لتوفير المياه الساخنة وللتدفئة ، ومن المنتظر أن يعم استعمال هذه الأجهزة فى السنوات القليلة القادمة .

ويتكون جهاز تجميع حرارة الشمس فى أبسط صورة من شريحة مستوية

من الالومنيوم أو النحاس أو الصلب ، وهى توضع فى مواجهة أشعة الشمس المباشرة فترتفع حرارتها ارتفاعا ملحوظا .

وعادة ما تطلى هذه الشرائح المعدنية باللون الأسود لتقليل انعكاس الضوء من سطحها ولزيادة قدرتها على امتصاص الحرارة ، كما يتم عزلها عن الجو المحيط بها حتى لا تتسرب منها الحرارة .



شكل ٧ ـ ٢ جهاز مبسط لتجميع حرارة الشمس

وتغطى هذه الشرائح كذلك بغطاء من الزجاج او البلاستيك لزيادة كفاءتها ، وذلك لأن هذا الغطاء يسمح بمرور الاشعة ذات الموجات القصيرة ، وعند مرور هذه الموجات فى الزجاج أو البلاستيك تتحول إلى اشعة طويلة الموجات ، وهذه الأخيرة لاتستطيع المرور فى الزجاج أو البلاستيك مرة أخرى ، وبذلك تبقى داخل الجهاز وترفع درجة حرارته .

وتشبه هذه العملية ماتقوم به الصوبات الزجاجية التى تستخدم فى زراعة الزهور والنباتات .

وتوضع هذه الاجهزة البسيطة فوق اسطح المبانى أو أى مكان مرتفع بحيث تواجه أشعة الشمس أطول مدة ممكنة .

وعند إمرار الهواء أو الماء فى جهاز التجميع ، تنتقل منه الحرارة إلى هذا

الوسط المائع الذى ترتفع درجة حرارته ويستخدم بعد ذلك فى نقل الحرارة الى المنزل أو المتجر أو الفندق .

وهناك من يرى أن استعمال الهواء فى هذه الاجهزة انسب كثيرا من إستعمال الماء ، وذلك لأن الهواء لا يسبب مشاكل عند تسربه ولاينتج عنه الصدأ ، ولكن الماء أفضل كثيرا من الهواء لان الماء اكثر كفاءة فى نقل الحرارة ، ولذلك يغلب استخدام الماء فى هذه الأجهزة .

ونظرا لأن أشعة الشمس لايسطع ضوؤها كل يوم فى كثير من البلدان الاوروبية ، فقد فكر العلماء هناك فى إيجاد طريقة لتخزين حرارة الشمس بالنهار عند سطوع الشمس لاستخدامها بعد ذلك ليلا أو فى الاوقات التى تغيب فيها الشمس وراء السحب .

وقد استخدمت لهذا الغرض خزانات ضخمة تحت سطح الأرض لتخزين الماء الساخن فيها بعد أن يمر فى أجهزة تجميع حرارة الشمس .

وتصل درجة حرارة الماء المار فى أجهزة تجميع حرارة الشمس إلى نحو ٦٠°م ، وقد تصل فى بعض هذه الاجهزة إلى ٩٠°م .

وهناك طريقة أخرى لتخزين الماء الساخن فى بعض الفراغات بين الصخور فى باطن الأرض ، ولكن ذلك يتطلب نوعا خاصا من التربة والصخور غير المسامية .

ولايمكن الاستفادة من الطاقة الشمسية استفادة كاملة فى المناطق الباردة التى يغطى السحاب سماءها ، ولكن يمكن ذلك فى المناطق الصحراوية وشبه الصحراوية التى يغمرها ضياء الشمس كل يوم على مدار العام .

البطاريات الشمسية : Solar Batteries

تركزت البحوث الجديدة المتعلقة باستخدام الطاقة الشمسية على إمكانية تحويل هذه الطاقة الى طاقة كهربائية بطريقة مباشرة ، باعتبار أن الطاقة الكهربائية اليوم تعتبر من أهم انواع الطاقة التى ينتشر إستخدامها فى المنازل والمتاجر والمصانع ودور اللهو وفى كل مكان .

وقد تركزت هذه البحوث بصفة خاصة على البطاريات الشمسية التى تحول ضوء الشمس إلى تيار كهربائى محسوس دون استخدام وسيط .

وتتكون البطارية الشمسية من عدة خلايا تتكون كل منها من فلز السليكون الذى اضيفت اليه بعض الشوائب لتغيير خصائصه الكهربائية .

وكى نتفهم المبدأ الذى تقوم عليه هذه البطاريات ، يجب علينا أن نتذكر أن الذرة تتكون من نواة مركزية موجبة التكهرب ، يدور حولها عدد من الالكترونات السالبة ، ولهذا فان الذرة فى حالتها الاساسية الطبيعية تكون متعادلة .

وتحدث التفاعلات الكيميائية بين الذرات لتكوين المركبات عن طريق الالكترونات التى تشغل المدارات الخارجية فى هذه الذرات ، بينما لاتتأثر الالكترونات التى تشغل المدارات الداخلية ولا أنوية هذه الذرات بهذه التفاعلات .

وهذه الالكترونات التى تشغل المدارات الخارجية للذرات هى التى تملك قدرا من الحرية ، وهى الاساس فى عمل البطاريات الشمسية .

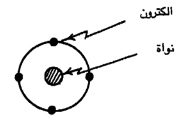
وتحتوى ذرة السليكون على اربعة الكترونات فى مدارها الخارجى ، ولكن هذا المدار يستطيع أن يستوعب ثمانية الكترونات ، ولهذا فان ذرات السليكون عندما تترتب فى شبكية البلورة تتخذ أوضاعا خاصة بحيث تصبح كل ذرة محاطة باربع ذرات اخرى وتشترك كل منها مع الاخرى فى الكترونين ، وبذلك فان كل ذرة من ذرات السليكون فى البلورة تصبح محاطة بثمانية الكترونات ، تشترك فيها كل ذرة بأربعة الكترونات من مداراتها الخارجية وتشارك الذرات المحيطة بها فى أربعة الكترونات أخرى بواقع الكترون واحد من كل منها .

واذا تصورنا أن أحد هذه الالكترونات المشتركة بين ذرات السليكون قد استمد طاقة من مصدر خارجى ، عن طريق شعاع من الضوء أو بواسطة تيار كهربائى ، فان هذا الالكترون تصبح طاقته أكبر من طاقة بقية الالكترونات الاخرى ، وستساعده هذه الطاقة الزائدة على التحرر من جذب نواة الذرة ، وعندئذ سينطلق هذا الالكترون بحرية داخل بلورة السليكون ، تاركا وراءه مكانا خاليا يسمى مجازا باسم « ثقب » «**hole**» .

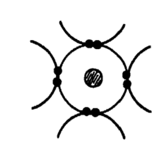
ونظرا لأن الذرة متعادلة فى حالتها الطبيعية ، فان انطلاق الكترون سالب بعيدا عن هذه الذرة يترك خلفة شحنة موجبة زائدة على نواتها ، وعلى ذلك فان وجود ثقب حول إحدى الذرات يدل على وجود شحنة موجبة على هذه الذرة .

وقد ينتقل الثقب من ذرة إلى أخرى ، وفى حقيقة الأمر فان الثقب لاينتقل انتقالا فعليا ، ولكن ذلك يتم عن طريق انتقال الالكترونات ، فقد ينتقل الكترون من ذرة أخرى مجاورة ليملأ هذا الثقب ، وبذلك فانه سيترك مكانه ثقبا فى الذرة الأخرى ، ويمكننا بهذا التصور أن نقول أن الثقوب تنتقل من مكان لآخر داخل البلورة مثلما تفعل الالكترونات .

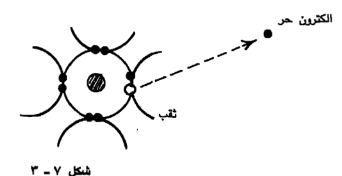
ولايعنى إنتقال الالكترونات أو تحرك الثقوب داخل البلورة أن بلورة



ذرة سليكون يحيط بها أربعة الكترونات فى مدارها الخارجى



ذرة سليكون محاطة بأربعة ذرات أخرى فى البلورة ، وحولها ثمانية الكترونات



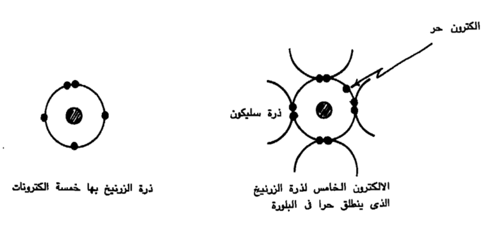
شكل ٧ - ٣
الثقب الذى يتكون نتيجة لتحرر الكترون وانطلاقه

السليكون قد فقدت تعادلها واصبحت مشحونة بالكهرباء ، وذلك لانه بالرغم من هذه التحركات بين الثقوب والالكترونات ، فان عدد الثقوب الموجبة يظل مكافئا لعدد الالكترونات السالبة فى داخل البلورة .

ولو أننا اضفنا إلى بلورة السليكون آثارا من عنصر الزرنيخ فان توزيع الالكترونات والثقوب فى بلورة السليكون سيختلف كثيرا عن الصورة السابقة .

ومهما كانت آثار الزرنيخ المضافة إلى بلورة السليكون ، ضئيلة ، فان هذه الآثار الضئيلة ستحتوى على عدد كبير من ذرات الزرنيخ ، وسترتبط هذه الذرات الجديدة مع ذرات السليكون داخل البلورة .

وتحتوى ذرة الزرنيخ فى مدارها الخارجى على خمسة الكترونات ، وعندما ترتبط هذه الذرة مع أربع ذرات من السليكون ، فان كل ذرة من ذرات السليكون تقوم بتقديم الكترون واحد كما سبق أن بينا ، وتقوم ذرة الزرنيخ بتقديم أربعة الكترونات إلى ذرات السليكون الأربع المحيطة بها للمشاركة فى تكوين رباط معها ، ويتبقى بذلك الكترون مفرد واحد على ذرة الزرنيخ وهو الالكترون الخامس الموجود بها ، وهذا الالكترون يتحول بهذا الوضع الى الكترون حر طليق .



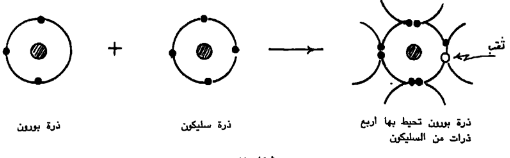
شكل ٧ ـ ٤

ويتبين من ذلك أن إضافة قدر ضئيل من عنصر الزرنيخ إلى بلورة السليكون ، يؤدى إلى وجود عدد كبير من الالكترونات الحرة الطليقة ، وبالرغم من ذلك فان البلورة تبقى متعادلة كهربائيا ، لان عدد الالكترونات يظل مساويا لعدد الشحنات الموجبة الموجودة على النواة فى كل الذرات .

ويحدث شىء مماثل عند إضافة آثار من عنصر البورون إلى بلورة السليكون ولكنه يختلف فى طبيعته شيئا ما .

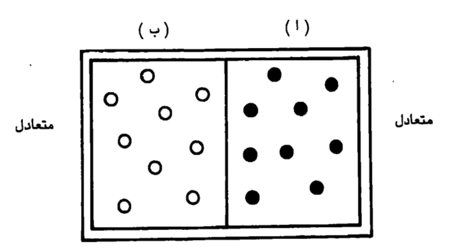
وتحتوى ذرة البورون فى مدارها الخارجى على ثلاثة الكترونات فقط ، وعندما ترتبط ذرة البورون فى البلورة باربع ذرات من السليكون فان كل ذرة سليكون تقدم الكترونا واحد لتكوين رباط مع ذرة البورون ، ولكن ذرة البورون لاتستطيع أن تقدم الا ثلاثة الكترونات فقط ، وبذلك يتبقى لدينا مكانا خاليا فى الرباط الواقع بين ذرة البورون وذرة السليكون الرابعة ، وينشأ بذلك ثقب حول ذرة البورون .

ونظرا لوجود اعداد كبيرة من ذرات البورون فى بلورة السليكون ، فانه يصبح عندنا عدد كبير من هذه الثقوب الموجبة .



شكل ٧ ـ ٥

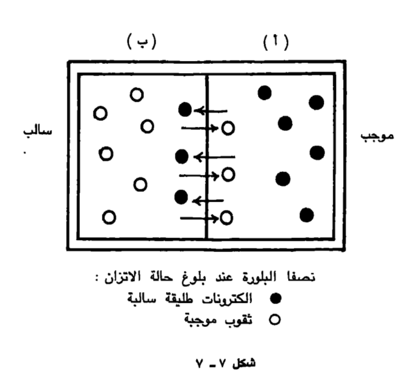
ولنفرض ألان أن لدينا بلورة سليكون يحتوى نصفها على الزرنيخ ويحتوى نصفها الأخر على البورون ، فاننا نلاحظ أن نصف البلورة المحتوى على الزرنيخ (أ) (فى الشكل ٧ ـ ٦) ، سيحتوى على عدد كبير من الالكترونات الطليقة (الناتجة من الالكترون الخامس لذرة الزرنيخ) ، وعلى حين أن نصف البلورة الثانى الذى يحتوى على البورون (ب) سيكون به عدد كبير من الثقوب الخالية من الالكترونات ، ولكن ذلك لن يؤثر على حالة التعادل فى البلورة ، وسيظل كل من نصفى البلورة متعادلا كهربائيا .



(أ) نصف البلورة المحتوى على الزرنيخ ، وبه الكترونات سالبة طليقة ● (متعادل)
(ب) نصف البلورة المحتوى على البورون ، وبه ثقوب موجبة ○ (متعادل)

شكل ٧ ـ ٦

وبما أن الالكترونات الطليقة تتحرك بحرية داخل البلورة ، فاننا سنجد أن بعضا من هذه الالكترونات قد انتقل من النصف المحتوى على الزرنيخ (أ) إلى النصف المحتوى على البورون (ب) ، كما أن بعضا من الثقوب سينتقل من النصف المحتوى على البورون (ب) إلى النصف المحتوى على الزرنيخ (أ) ، وبذلك تتوزع الالكترونات والثقوب فى نصفى البلورة .



نصفا البلورة عند بلوغ حالة الاتزان :
● الكترونات طليقة سالبة
○ ثقوب موجبة

شكل ٧ ـ ٧

وبما أن نصفى البلورة كانا متعادلين اصلا ، فانه سيترتب على حركة كل من الالكترونات والثقوب ، حدوث خلل بحالة التعادل ، فتظهر شحنة موجبة على الجزء (أ) المحتوى على الزرنيخ عندما تنتقل اليه بعض الثقوب ، وتظهر شحنة سالبة على الجزء (ب) المحتوى على البورون ، عندما تنتقل اليه بعض الالكترونات .

ولايستمر تبادل الالكترونات والثقوب بين نصفى البلورة الى الابد ، ولكن هذا التبادل يتوقف عندما تظهر شحنات سالبة أو موجبة كافية على نصفى البلورة بحيث تستطيع أن تمنع انتقال الالكترونات والثقوب خلال سطح الانفصال .

ويتم ذلك عندما يصبح نصف البلورة (ب) سالبا بدرجة كافية تجعله يتنافر مع الالكترونات القادمة من (أ) ويمنعها من الانتقال اليه ، ويحدث ذلك ايضا بالنسبة لنصف البلورة الاخر (أ) ، فعندما يصبح هذا النصف موجبا بدرجة كافية ، لن يستطيع أن يستقبل مزيدا من الثقوب ، أو بمعنى آخر تجعله لايفرط فى الكترونات اخرى .

وعندما يحدث ذلك ، يقال أن البلورة قد بلغت حالة من الاتزان ، ويكون هناك مجال كهربائى واضح بين نصفى البلورة .

وتتكون البطارية الشمسية من عدد كبير من هذه البلورات أو الخلايا . وتتكون كل خلية من شريحة من معدن السليكون المحتوى على آثار من الزرنيخ ، ويطلق على هذه الشريحه اسم « السليكون السالب » «**negative silicon**» ويرمز لها بالرمز «n» وذلك لأن هذه الشريحة هى التى تحتوى على الكترونات طليقة (أ فى الشكل ٧ ـ ٨) .

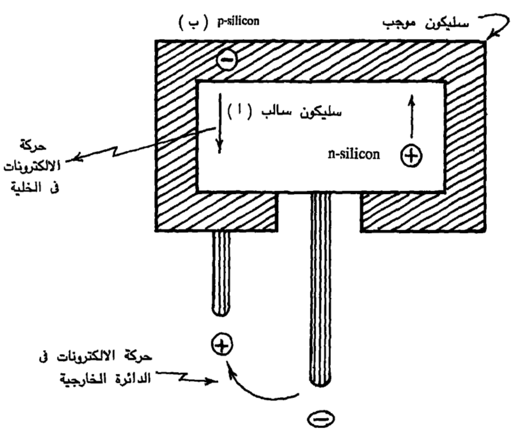
ويحيط بهذه الشريحة اطار من السليكون المحتوى على آثار من البورون ، ويطلق على هذا الاطار اسم « السليكون الموجب » «**positive silicon**» ويرمز له بالرمز «p» لأن هذا الاطار يحتوى على عدد كبير من الثقوب (ب فى الشكل ٧ ـ ٨) .

ويشبه الجزء الخارجى وهو إطار هذه الخلية الذى يحتوى على البورون ، والذى يسمى بالسليكون الموجب ، الجزء (ب) فى الرسم السابق ، وهو يحمل شحنة سالبة عند حالة الاتزان لانتقال بعض الالكترونات الطليقة اليه .

كذلك يشبه الجزء الداخلى للخلية المحتوى على الزرنيخ ، والذى يسمى بالسليكون السالب ، الجزء (أ) فى الرسم السابق ، ويصبح هذا الجزء موجبا عند حالة الاتزان بسبب فقده لبعض الألكترونات ، وإنتقال الثقوب الموجبة اليه .

وعندما تسقط اشعة الشمس على هذه الخلية ، تكتسب بعض الالكترونات الموجودة بالجزء (ب) طاقة زائدة فتبدأ فى التحرك ، وتختل بذلك حالة الاتزان القائمة بين كل من (أ) ، (ب) ، وتبدأ الالكترونات فى الانتقال من الاطار (ب) الى السليكون السالب فى الشريحة الداخلية (أ) بينما تتحرك الثقوب من السيلكون السالب (ا)إلى الموجب (ب) فى الاطار الخارجى ، ويترتب على ذلك اندفاع الالكترونات من القطب السالب إلى القطب الموجب فى الدائرة الخارجية .

وعادة ما تتكون البطارية الشمسية العملية من عدد كبير من هذه الخلايا



شكل ٧ ـ ٨ خلية السليكون

متصلة بعضها ببعض على التوالى ، ويستمر التيار الكهربائى فى السريان فى هذه الخلية طوال فترة تعرضها لاشعة الشمس .

وتستطيع البطاريات الشمسية أن تحول ١٠٠٠ وات من ضوء الشمس إلى ١٨٠ وات من الكهرباء ، وبذلك لا تزيد كفاءة هذه البطاريات على ١٨٪ وهى كفاءة قليلة نسبياً .

وقد تم استخدام بعض هذه البطاريات الشمسية فى توليد الكهرباء فاستعملت فى بعض الأقمار الصناعية وبعض مراكب الفضاء ، وكانت كفاءتها لا تتجاوز ١٥٪ فقط .

ومن المنتظر ان تؤدى البحوث الجارية حاليا ، إلى تحسين اداء هذه البطاريات ورفع كفاءتها إلى حدود مناسبة ، خاصة وأن هذه البطاريات تتمتع

بكثير من الميزات ، فهى مصدر نظيف للطاقة لا يترتب على استعماله ظهور نواتج ثانوية ضارة بالبيئة ، كما أنها لا تحتوى على أجزاء متحركة تستنفد جزءا من طاقتها ، مثل التربينات أو الغلايات وما اليها ، كما أن المصدر الذى تستمد منه هذه البطاريات طاقتها ، هى أشعة الشمس ، وهى مصدر دائم لا ينتهى ولا ينتظر أن يفنى فى حياة الانسان .

وهناك بحوث اخرى تتعلق باستخدام بعض المواد الأخرى فى صنع هذه البطاريات ، واحدى المواد المقترحة لهذا الغرض هى كبريتيد الكادميوم ، وتقع اهمية هذه البحوث فى صعوبة توفير المواد اللازمة لصنع هذه البطاريات على نطاق كبير لاستخدامها فى كل أنحاء العالم .

ويمكن توضيح هذه الصعوبة إذا أخذنا دولة صناعية مثل الولايات المتحدة مثالا لذلك ، فنجد أنه إذا ارادت الولايات المتحدة أن تستخدم البطاريات الشمسية فى توليد قدر من الكهرباء يفى باحتياجاتها ، فانها تحتاج إلى نحو ٢ مليون طن من فلز السليكون لصنع هذه البطاريات ، بينما هى حاليا لا تنتج من هذا العنصر الا نحو ٩٠ طنا فقط فى العام .

كذلك تحتاج هذه البطاريات الشمسية إلى مساحة هائلة من الأرض كى يمكن تعريضها لأشعة الشمس المباشرة ، ويقدر أن البطاريات الشمسية التى تلزم لانتاج الطاقة الكهربائية المطلوبة حاليا فى الولايات المتحدة تحتاج إلى مساحة هائلة تصل إلى نحو ١٪ من مساحة الدولة ، وتبلغ هذه نحو ٩٠,٠٠٠ من الكيلومترات المربعة .

استخدام الطاقة الشمسية فى الفضاء

هناك أفكار خاصة باقامة محطات خاصة فى الفضاء الخارجى تحمل البطاريات الشمسية التى تستقبل الطاقة الشمسية وتحولها إلى طاقة كهربائية يتم ارسالها بعد ذلك إلى سطح الأرض .

ومن المعتقد أن اقامة محطة من هذا النوع على ارتفاع ٣٠,٠٠٠ كيلو متر من سطح الأرض ، فوق خط الاستواء ، يمكن لها أن تستقبل كمية كبيرة من الطاقة الشمسية ، تزيد بنحو ست مرات على الطاقة الشمسية التى تصل من خلال الغلاف الجوى إلى سطح الأرض ، كما أن هذه المحطة ستبقى معرضة لأشعة الشمس لمدة ٢٤ ساعة كل يوم على مدار العام .

ومن المقترح أن تتكون هذه المحطة من مجموعة هائلة من خلايا البطاريات

الشمسية على هيئة مجمع يشغل مساحة هائلة ، قد يصل طولها إلى ١٠ كيلومترات وعرضها إلى ٤ كيلومترات على وجه التقريب .

ويمكن نقل الكهرباء التى تولدها هذه البطاريات من أشعة الشمس ، إلى سطح الأرض بواسطة الميكروويف عن طريق محطة ارسال خاصة لتستقبلها محطة استقبال تقوم بتحويلها إلى تيار كهربائى مرة أخرى .

ولابد أن يفقد جزء من الطاقة فى عمليات تحويل تيار الكهرباء إلى موجات الميكروويف ، ثم فى عملية تحويل موجات الميكروويف إلى تيار كهربائى مرة أخرى ، ولكن الجزء المفقود من الطاقة صغير جدا ، وتتم مثل هذه العمليات التحويلية حاليا على سطح الأرض بكفاءة عالية تصل إلى نحو ٩٠٪ تقريبا .

ومن الطبيعى أنه كى يتحقق مثل هذا المشروع الهائل ، فان الأمر يتطلب ضرورة ابتكار بطاريات شمسية جديدة خفيفة الوزن ، وقليلة التكاليف ، كذلك يحتاج مثل هذا المشروع إلى تصنيع مثل هذه البطاريات على نطاق واسع ، مع ضرورة وجود نظام محكم لنقل هذه الخلايات إلى الفضاء الخارجى ، وتركيبها فى مكانها فى مدار حول الأرض .

انتاج الطاقة
من مياه البحار والمحيطات

قامت كثير من الدول فى الاعوام الأخيرة بالبحث عن مصادر جديدة للطاقة ، وقد اتجهت انظار الباحثين فى هذا المجال الى مياه البحار والمحيطات لاستخدامها فى انتاج الطاقة التى يمكن استعمالها فى بعض الأغراض .

وقد تركزت البحوث التى اجريت فى هذا المجال فى ثلاثة اتجاهات ، فتناولت بعض هذه البحوث امكانية استخدام الفرق فى درجة حرارة مياه المحيطات ، ودار بعضها الآخر حول استخدام امواج البحر وتناول بعضها كذلك استخدام ظاهرة المد والجزر فى انتاج الطاقة الكهربائية .

انتاج الطاقة من حرارة مياه البحار

بدأت فكرة استخدام الفرق فى حرارة مياه البحار والمحيطات لانتاج الطاقة تراود كثير من العلماء منذ فترة ليست بالوجيزة ، فهى تقدم احتمالات لا بأس بها لتوليد الكهرباء كما أنها تقدم قدرا مناسبا من الطاقة التى يمكن استخدامها فى انتاج بعض المواد الأولية .

وتختلف درجة حرارة مياه المحيطات باختلاف الطبقة التى توجد فيها هذه المياه ، فالمياه السطحية للبحار والمحيطات تختزن قدرا هائلا من طاقة الشمس التى تقع عليها طوال النهار ، بينما تقل درجة حرارة مياه الأعماق وتظل باردة إلى حد كبير .

ويصل الاشعاع الشمسى إلى ذروته بين مدارى السرطان والجدى عند خطى عرض ٣٣,٥ شمال وجنوب خط الاستواء ، ونظرا لأن سطح الأرض فى هذه المناطق يتكون من نحو ٩٠٪ من المحيطات فان المياه السطحية فى هذه المناطق ترتفع درجة حرارتها بشكل ظاهر ، وقد تصل إلى نحو ٣٠° م فى المناطق التى تقع على خط الاستواء .

وتتكون طبقة المياه الباردة السفلية نتيجة لذوبان الثلوج الآتية من المناطق القطبية ، ونظرا لبرودة هذه المياه فان كثافتها تكون مرتفعة ولهذا فهى تهبط إلى

الأعماق وتكون طبقة باردة تحت طبقة المياه السطحية الدافئة ، وتمتد ببطء من القطبين إلى خط الاستواء . وقد تصل درجة حرارة هذه الطبقة الباردة إلى ٤° م على عمق ٦٠٠ متر تحت سطح البحر .

ومن المعروف أن جميع الآلات الحرارية يلزم لادارتها وجود مصدر ساخن ووجود مخرج بارد ، وأن هذا الفارق بين درجتى حرارة المصدر والمخرج هو الذى يعطينا **الطاقة** أو « **الشغل** » "work" اللازم لادارة الآلة .

وقد فكر العلماء فى استخدام الفرق بين درجة حرارة المياه السطحية الدافئة وبين درجة حرارة المياه السفلية الباردة ، فى توليد الطاقة المحركة ، وعلى الرغم من صغر هذا الفارق ، الا أنه يكفى نظريا للاستفادة منه فى توليد الطاقة ، وان كانت كفاءة المحرك الحرارى الناتج ستكون قليلة إلى حد ما ، وقد لا تزيد على ٢ ٪ .

وبالرغم من قلة كفاءة مثل هذه الآلة الحرارية ، الا أن هذه الطاقة مجانية ولا تكلف الناس شيئا ، ويشترط لنجاح توليد الطاقة من مياه البحر بهذا الأسلوب ، ألا يقل الفرق فى درجة الحرارة بين طبقتى المياه الدافئة والباردة عن ١٥° م .

وقد كان الفيزيائى الفرنسى « **جاك دارسونفال** » هو أول من تقدم بأفكار مناسبة للاستفادة من طاقة مياه البحار عام ١٨٨١ ، ومع ذلك فقد كانت أولى المحاولات الناجحة فى هذا الاتجاه فى عام ١٩٢٩ ، وقام بها مهندس فرنسى يدعى « **جورج كلود** » فأقام محركا صغيرا قوته ٢٢ كيلووات على شاطىء البحر ، استخدم فيه الماء البارد من أعماق البحر عبر انبوب طويل ، ولم تكن هذه المحاولة ناجحة من الناحية الاقتصادية ، الا أنها برهنت على امكان تنفيذ هذه الأفكار .

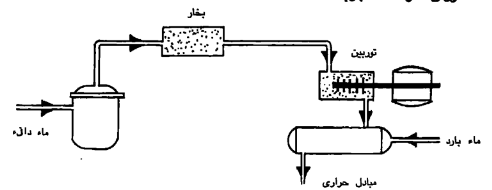
وقد بدىء فى تشغيل أول محطة لتوليد الكهرباء تعمل بمبدأ الاستفادة من الطاقة الحرارية للمحيط ، فى الولايات المتحدة فى أغسطس ١٩٧٩ ، وتبين من التجارب التى اجريت فى هذا المجال أنه يجب استعمال ثلاثة أمتار مكعبة من الماء فى الثانية لانتاج ميجاوات واحد من الكهرباء .

وهناك طريقتان لاستغلال حرارة مياه البحار فى انتاج الطاقة الكهربائية ، تتضمن احداهما استعمال ما يسمى **بالدائرة المفتوحة** وفيها يستعمل ماء البحر وحده ، على حين تتضمن الاخرى استعمال سائل آخر سريع التطاير بجوار مياه البحر ، وهى تسمى بطريقة **الدائرة المقفلة** .

وطريقة الدائرة المفتوحة غاية فى البساطة ، ولا يستعمل فيها إلا ماء البحر فقط ، فيدفع ماء سطح البحر الدافىء الذى تكون حرارته نحو ٣٠° م إلى مبخر خاص

تحت ضغط مخلخل يصل إلى نحو ثلاثة اجزاء من مائة جزء من الضغط الجوى المعتاد ، فيتحول هذا الماء إلى بخار يدفع بعد ذلك ليمر على تربين ، ومنه ينتقل إلى مبادل حرارى آخر ليقابل تيارا من الماء البارد الوارد من قاع البحر ، فيتكثف البخار إلى ماء مرة أخرى .

وهذا الفارق فى الضغط بين أول الدائرة ونهايتها هو الذى يدفع التربين إلى الدوران مولدا للكهرباء .



شكل ٨ ـ ١ طريقة الدائرة المفتوحة لانتاج الطاقة من حرارة مياه البخار

وتحتاج طريقة الدائرة المفتوحة إلى استخدام تربين ضخم يبلغ قطره نحو ثمانية أمتار للحصول على قدر مناسب من الطاقة .

كذلك يجب تخليص مياه البحر من الهواء الذائب فيها حتى لا يؤدى هذا الهواء إلى تقليل ضغط البخار وتوقف التربين عن الحركة .

وتختلف طريقة الدائرة المقفلة عن هذه الطريقة ، ففى هذه الحالة يستخدم بها سائل آخر سهل التطاير مثل النشادر السائل ، فى دائرة مقفلة خاصة به ، ويدفع النشادر إلى مبادل حرارى ليقابل تيارا من ماء سطح البحر الدافىء ، فتتحول النشادر إلى غاز أو بخار يمرر فى خلال التربين ويدفعه إلى الدوران .

ويخرج النشادر من التربين إلى مبادل حرارى آخر ليقابل تيارا من ماء البحر البارد الآتى من الأعماق ، فيتكثف النشادر إلى سائل مرة أخرى دون أن يفقد منه شىء ما .

ويمكن استخدام سوائل أخرى سهلة التطاير خلاف النشادر ومثال ذلك الفريون المستعمل فى الثلاجات المنزلية ، ولكن يفضل استعمال النشادر فى هذا الغرض ، لأنه عند حدوث حادث ما ، فان النشادر التى قد يتسرب من الدائرة

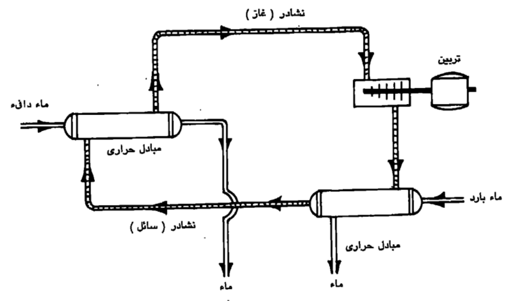
المقفلة ، يسهل دوبانه فى ماء البحر ، وسرعان ما يتحول بواسطة العناصر الطبيعية مثل البكتريا والاكسجين وضوء الشمس ، إلى مواد أخرى لا ضرر منها ولا تؤثر فى البيئة المحيطة بهذه المحطات .

ويضاف إلى ذلك أن الضغط البخارى للنشادر يعتبر مناسبا تماما لمثل هذه الدوائر المقفلة ، فهو يبلغ نحو ٩ كيلو جرامات على السنتيمتر المربع عند ٢٥° م .

أما عند استخدام الفريون فى مثل هذه الدوائر المقفلة ، فان ما قد يتسرب منه من الدائرة إلى ماء البحر عند وقوع حادث ما ، لن يتأثر بالعوامل الطبيعية بسهولة ، وسيبقى فى البيئة المحيطة بالمحطة زمنا طويلا ، ويسبب بذلك كثيرا من الاضرار للكائنات الحية التى تعيش فيها .

وتحتاج الدائرة المقفلة إلى استخدام مبادلات حرارية فائقة الكفاءة وذات سطح كبير ، حتى أنه يقدر أن المحطة التى تستطيع أن تنتج ميجاوات واحد ، تحتاج إلى مبادل حرارى تقرب مساحة سطحه من الهكتار ، ولكن الدائرة المقفلة تتميز عن الدائرة المفتوحة بصغر حجم التربين المستخدم فيها .

وقد اقيمت واحدة من محطات الدائرة المقفلة فى الولايات المتحدة ، وهى محطة تجريبية على هيئة سفينة تطفو على سطح البحر، وكان الهدف من هذه المحطة تحويل طاقة المحيط الحرارية إلى كهرباء تصل قدرتها إلى مائة ميجاوات ، وهى تكفى حاجة مدينة متوسطة الحجم يصل تعداد سكانها إلى مائة ألف نسمة .



شكل ٨ ـ ٢ طريقة الدائرة المقفلة لانتاج الطاقة من حرارة مياه البحار

ويسحب الماء البارد فى هذه المحطة من عمق ٧٦٢ مترا بواسطة انبوبة ضخمة يبلغ قطرها ١٨ مترا فى وسط السفينة ، وبها ٤٠ وحدة من المبادلات الحرارية لتكثيف غاز النشادر ، على حين يضخ الماء الدافىء فى ٢٠ حوضا كبيرا على جوانب هذه السفينة .

وأحد مساوىء مثل هذه المحطات أنها لابد وأن تقام فى وسط الماء العميق حتى يمكن سحب الماء البارد من عمق كبير ، ويعنى ذلك أنها تقام على بعد كبير من الشاطىء مما يصعب معه نقل الكهرباء الناتجة منها إلى الشواطىء .

ويمكن الاستفادة من الطاقة الناتجة من مثل هذه المحطات البحرية دون أن تنقل إلى الشاطىء ، وذلك بانتاج بعض المواد الأولية الهامة المستخدمة فى الصناعة فوق هذه المحطات ، وقد تكون تكلفتها بذلك أقل من تكاليف انتاجها على البر .

ومن أمثلة ذلك الاستفادة من مثل هذه المحطات فى تصنيع غاز النشادر ، فيمكن تزويد هذه المحطات العائمة بأجهزة خاصة لفصل غاز النتروجين من الجو ، ويمكنها كذلك تحضير غاز الهدروجين بتحليل مياه البحر ، ثم تقوم بمفاعلة هذين الغازين معا لتكوين النشادر .

وتستطيع محطة بهذا الحجم المذكور أن تنتج نحو ٢٨٠ طنا من النشادر فى اليوم ، أى أنها تنتج مائة ألف طن من النشادر فى العام ، وهى مساهمة جيدة تساعد فى سد الحاجة إلى الأسمدة والمخصبات الزراعية .

كذلك يمكن نقل غاز الهدروجين الناتج بالتحليل الكهربائى للماء ، إلى البر على هيئة سائل واستخدامه بعد ذلك فى عمليات التسخين والتدفئة ، أو يستخدم فى تصنيع بعض المواد الهامة الأخرى مثل الميثانول وبعض الهدروكربونات الغنية بالهدروجين مثل الكيروسين والجازولين .

ويمكن كذلك استخدام الطاقة الكهربائية الناتجة من مثل هذه المحطات فى صناعة الألومنيوم ، وهى صناعة تحتاج إلى قدر كبير من الطاقة الكهربائية ، ويقدر أن مصنعا واحدا من هذا النوع الطافى الذى يستخدم الطاقة الحرارية للمحيطات يستطيع أن ينتج قدرا كبيرا من الألومنيوم فى العام .

وبالرغم من كل هذه الأفكار الجيدة ، فمازالت عناصر التكلفة تمثل عائقا كبيرا أمام مثل هذه المشروعات ، ولن تنجح مثل هذه المشروعات الا إذا حققت عائدا اقتصاديا مناسبا .

وقد تناولت بعض البحوث امكانية استخدام المياه الدافئة لتيار الخليج الدافىء بالمحيط الاطلنطى .

ومن الممكن نظريا انتاج قدر هائل من الكهرباء من مياه هذا التيار يصل إلى نحو ١٨٠ مليون كيلووات ساعة ، إذا اقيمت محطات من هذا النوع على طول المسافة التى يقطعها التيار .

وكى ندرك ضخامة هذا القدر من الكهرباء ، فانه يمكن القول بأنه سيكفى احتياجات دولة صناعية كبرى مثل الولايات المتحدة عام ٢٠٠٠ .

ونظرا لأن المحطات التى تستخدم حرارة مياه المحيط تخلط الماء الدافىء بالماء البارد الوارد من أعماق البحر ، فقد فكر بعض العلماء أن اقامة مثل هذه المحطات عل طول الطريق الذى يقطعه تيار الخليج الدافىء سيؤثر كثيرا على درجة حرارة مياه هذا التيار ، وقد يؤدى ذلك إلى اختلال حالة الجو فوق السواحل الغربية لدول أوروبا ، وهى المناطق التى يصل اليها هذا التيار الدافىء ويساعد على التقليل من برودة اجوائها .

ولا يمكن حتى الآن الحكم على صلاحية هذه المحطات ، ولابد من اجراء مزيد من البحوث والدراسات لزيادة كفاءة المبادلات الحرارية التى تنقل الحرارة من الماء الدافىء إلى الماء البارد ، ولزيادة كفاءة التربينات المولدة للكهرباء ، مع ضرورة صنع تجهيزات من مواد خاصة تستطيع مقاومة التآكل بتأثير مياه المحيط المحملة بالاملاح .

انتاج الطاقة من أمواج البحر

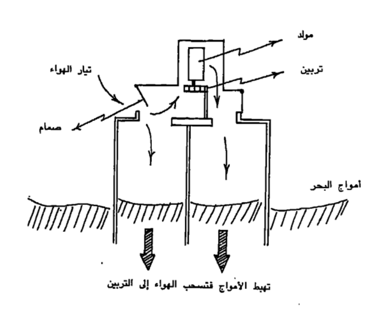
هناك أيضا بعض المحاولات التى تتعلق بانتاج الطاقة من حركة أمواج البحر فى ارتفاعها وانخفاضها . وأهم هذه المحاولات ما تقدم به بعض علماء انجلترا وبعض علماء اليابان .

ويتلخص المشروع البريطانى فى وضع سلسلة من براميل ذات أشكال خاصة فى مسار الامواج على مسافة من الشاطىء . وعندما تدفع الامواج هذه البراميل تدور حول محورها وتدير معها مولدا للكهرباء . وتقتضى هذه الطريقة وجود امواج يصل طولها إلى ١٥٠ مترا على الاقل وارتفاعها نحو ٣ أمتار حتى يمكن توليد قدر مناسب من الكهرباء .

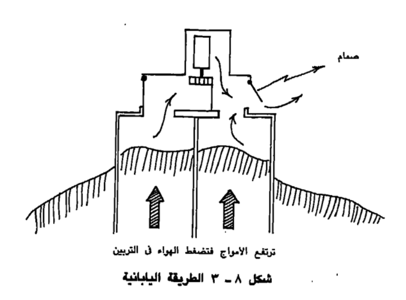
أما المشروع اليابانى فهو عبارة عن باخرة يبلغ طولها نحو ٥٠٠ متر تقريبا ، يوجد فى باطنها مجموعة من التربينات التى تعمل بضغط الهواء .

وتوضع هذه السفينة فى الميناء فى مسار أمواج البحر ، وعند ارتفاع الامواج

فانها تدخل إلى هذه التربينات وتضغط الهواء فيها فتدور محركاتها ، وعند هبوط أمواج البحر يقل ضغط الهواء داخل التربينات ، فيتم سحب الهواء من الجو الذى يمر أيضا على التربينات ويديرها ، وبذلك يستمر دوران التربينات التى تولد فى حركتها قدرا من الطاقة .



تهبط الأمواج فتسحب الهواء إلى التربين



ترتفع الأمواج فتضغط الهواء فى التربين

شكل ٨ ـ ٣ الطريقة اليابانية

انتاج الطاقة من حركة المد والجزر

لاحظ الناس منذ قديم الزمان أن مياه البحر ترتفع فى بعض الاحيان لتغطى أجزاء من الشواطىء ، ثم تعود لتنخفض بعد فترة من الزمان ، وتنسحب فى اتجاه البحر تاركة وراءها مساحة كبيرة من الشاطىء عارية من الماء .

وقد اطلق الناس على هذه الظاهرة التى تتكرر يوميا فى دورات خاصة ، اسم **ظاهرة المد والجزر** .

وقد كان أهل الصين هم أول من ذكروا شيئا فى كتاباتهم عن ظاهرة المد والجزر ، ولكن تفسيرهم لهذه الظاهرة لم يكن تفسيرا واقعيا ، بل شط بهم الخيال ، فكانوا يعتقدون أن حركة مياه البحر فى ارتفاعها وانخفاضها تنتج من تنفس كائن حى عملاق يسكن فى قاع البحر أو فى باطن الأرض .

وكان سكان سكندنافيا يعتقدون اعتقادا مماثلا ، فكانوا يرون أن الإله « ثور » "Thor" الذى يسكن السماء هو السبب فى هذه الظاهرة ، فترتفع مياه البحر لتغطى الشاطىء عندما ينفخ فيها هذا الإله ، ثم تنسحب بعيدا عن الشاطىء عندما يتوقف عن النفخ .

وأول من قدم تفسيرا علميا مقبولا لهذه الظاهرة هو عالم الفلك الألمانى « **جوهانس كبلر** » " Johannes Kepler " الذى عاش فى القرن السادس عشر ، فربط بين حركات الماء فى ارتفاعها وانخفاضها ، وبين أوضاع كل من الشمس والقمر فى السماء ، ثم جاء بعد ذلك العالم البريطانى « **اسحق نيوتن** » " Isaac Newton " والذى تكلم عن الجاذبية بين مختلف الاجسام ، فوضع بذلك الاساس الذى تقوم عليه النظرية الحديثة التى تفسر ظاهرة المد والجزر .

وقد قام بعد ذلك العالم الرياضى الفرنسى « **بيير لابلاس** » " Pierre Laplace " بتعديل بعض الأفكار التى نادى بها نيوتن ، وإن كان لم يخرج عن نطاق نظرية الجاذبية التى وضعها نيوتن .

ونحن نعرف اليوم أن المد والجزر ظاهرة تنشأ نتيجة للتجاذب المتبادل بين كل من الشمس والقمر وبين الأرض .

ونظرا لأن الماء جسم مائع سهل التحرك ، فانه يستجيب بشكل واضح لجاذبية الشمس والقمر أكثر مما تستجيب صخور الأرض الصلبة ، ولذلك يرتفع سطح الماء وينخفض تبعا لموضع هذه الاجرام فى السماء .

وقد يظن البعض أن صخور سطح الأرض لا تتأثر بقوى جذب كل من

الشمس والقمر ، ولكن آلات الرصد الدقيقة بينت أن صخور الأرض تستجيب إلى هذه القوى كذلك ، ولكننا لا نشعر بها لشدة صلابة هذه الصخور .

وعندما يرتفع سطح البحر المواجه للشمس أو القمر ، فان الماء يغطى الشواطىء الواقعة فى هذه المناطق ، ويسمى ذلك بالمد ، وعندما ينخفض سطح البحر ، ينسحب الماء عائدا إلى البحر ، ويعرف ذلك بالجزر ،

وعلى الرغم من أن كتلة الشمس بالغة الضخامة ، وتبلغ نحو ٢٨ مليون مرة قدر كتلة القمر ، الا أن قوة جذبها لمياه البحر تقل كثيرا عن قوة جذب القمر ، وتبلغ قوة جذبها نحو ٠,٤٦ من قوة جذب القمر لمياه البحار .

والسبب فى ذلك أن الشمس تبعد كثيرا عن الأرض ، وتصل المسافة بينهما إلى نحو ١٥٠ مليون كيلو متر ، بينما يقع القمر قريبا من الأرض وعلى مسافة ٣٨٥٠٠٠ كيلو متر منها فقط .

ويدور القمر حول الأرض فى مدار بيضاوى ، أى أنه يكون قريبا من الأرض فى بعض الاحيان عنه فى بعض الاحيان الأخرى ، ولذلك فان قوة جذبه لمياه البحر تتغير تبعا لموقعه فى هذا المدار ، فعندما يكون القمر فى أقرب موقع له من الأرض ، تزداد قوة جذبه بنحو ٤٠٪ على قوة جذبه عندما يكون فى ابعد نقطة له من الأرض .

وهناك بعض الاماكن التى تكون فيها دورة المد والجزر منتظمة تماما كما فى تاهيتى ، فيحدث فيها المد يوميا عند الظهر وعند منتصف الليل على حين يحدث الجزر بانتظام عند الساعة السادسة صباحا وعند السادسة مساء ، ولكن هذه الظاهرة قد لا تكون منتظمة دائما بهذا الشكل ، فهى تتغير من مكان لآخر ، كما تعتمد طبيعتها على شكل حوض البحر ، وطبيعة الشواطىء وحركة الامواج وبعض العوامل الأخرى .

ويبدو تأثير المد واضحا فى الخلجان وعند بعض الجزر التى تقع فى وسط المحيط ، كما أن سرعة تيار المد قد تزداد فى بعض مداخل الأنهار التى تصب مباشرة فى المحيط ، والتى قد يدخل فيها تيار المد إلى مسافات كبيرة داخل مجرى النهر ، قد تصل احيانا إلى عدة كيلومترات .

ويتغير ارتفاع موجة المد من مكان لآخر ، فقد يتراوح ارتفاعها بين ثلث متر وبين خمسة عشر مترا ، وقد يندفع تيار المد على شكل حائط من الماء يتقدم بسرعة كبيرة نحو الشاطىء .

ويمكن مشاهدة موجة المد بوضوح فى مدخل احد أنهار الصين وهو نهر « **تسينتانج** » "Tsientang" الذى يصب فى بحر الصين .

ويبلغ ارتفاع موجة المد التى تدخل هذا النهر نحو ثمانية أمتار احيانا ، بينما تصل سرعتها إلى نحو عشرين كيلو مترا فى الساعة ، وهى تسبب فى كثير من الاحيان بعض الاضرار للزوارق والسفن ، وتجعل الملاحة على درجة من الصعوبة فى هذا النهر .

وتوجد ظاهرة مماثلة فى بعض الأنهار الأخرى كما فى مدخل **نهر الامازون** بأمريكا الجنوبية ، وفى مدخل نهر « **سيفرن** » "Severn" بانجلترا .

وتمثل حركة مياه البحر بين المد والجزر طاقة مختزنة هائلة يمكن استخدامها فى توليد الكهرباء أو فى انتاج الطاقة المحركة .

وقد استخدمت حركة المد والجزر فى أوروبا فى توليد الكهرباء خاصة فى الأماكن التى يكون فيها المد عاليا .

ويتم ذلك عادة باختيار منطقة مناسبة ، ثم يقام فيها سد يفصل بين شاطىء البحر وبين المنطقة التى يمكن أن يغطيها الماء عند حدوث المد ، والتى تسمى عادة **بحوض المد** .

وعندما يبدأ تيار المد فى الاتجاه من البحر إلى الشاطىء ، يترك الماء لينفذ خلال بوابات خاصة فى جسم السد ، إلى حوض المد .

وعندما تبدأ عملية الجزر ، وتبدأ المياه فى العودة إلى البحر ، توجه هذه المياه إلى مجموعة من التربينات المقامة فى السد ، فتحركها وتولد منها تيارا قويا من الكهرباء .

وقد بدأت تجارب استخدام ظاهرة المد والجزر فى انتاج الطاقة فى الولايات المتحدة منذ القرن السابع عشر ، ولكن هذه التجارب كانت وقفا على استعمال الطاقة الناتجة من حركة الماء فى ادارة بعض الطواحين التى تطحن الغلال .

وقد بدأ بعد ذلك فى بناء بعض المحطات الأكثر تعقيدا ، والتى تستطيع أن تولد التيار الكهربائى ، واقيمت احدى هذه المحطات عام ١٩٣٥ على شاطىء أحد الخلجان المجاورة للحدود الكندية فى ولاية « مين » بالولايات المتحدة ، وكان الهدف منها استخدام طاقة المد فى انتاج نحو ٢٥٠,٠٠٠ كيلووات من الكهرباء ، ولكن هذا المشروع لم يخرج إلى حيز التنفيذ بسبب نقص التمويل .

وقد تكون بعد ذلك فى عام ١٩٤٨ ، مجلس مشترك بين كل من الولايات

المتحدة وكندا لاعادة تقييم هذا المشروع ، وتبين من الدراسات التى أجريت فى هذا الشأن أن العائد الاقتصادى لهذا المشروع لا يتناسب مع ارتفاع تكلفته .

وقد قامت الولايات المتحدة عام ١٩٦١ باعادة دراسة هذا المشروع على أساس توليد مليون كيلووات من الكهرباء التى يمكن ادخالها على الشبكة الكهربائية الرئيسية لاستعمالها وقت الذروة ، ولكن الحظ لم يحالف المشروع هذه المرة كذلك .

وهناك مشروع آخر تحت الدراسة فى الولايات المتحدة ، يزمع اقامته على الشواطىء الغربية لنوفاسكوتشيا ، حيث يبلغ ارتفاع موجة المد نحو ٨,٧ متر عند دخولها نهر « انابوليس » ، وعند خروج المياه إلى البحر أثناء الجزر ، ستدفع تربينات يتوقع لها أن تولد نحو ٢٠ مليون وات .

وعند نجاح هذا المشروع ، فمن المتوقع أن يقام مشروع آخر عند رأس الخليج فى نفس المنطقة حيث يبلغ ارتفاع موجة المد نحو خمسة عشر مترا .

وقد نجحت فرنسا فى انشاء محطة كهرباء تعمل بالطاقة الناتجة من حركة المياه أثناء المد والجزر . وقد اقيمت هذه المحطة على مدخل نهر « رانس » " Rance " فى برتيانى ، وبلغت قدرة هذه المحطة ٢٤٠,٠٠٠ كيلووات ، وبلغت كفاءة هذه المحطة ٢٥٪ ، وهى كفاءة لا بأس بها .

كذلك قام الاتحاد السوفيتى ببناء محطة مشابهة على مدخل نهر « كيلسايا » " Kilsaya " ويشبه هذا المشروع المشروع الفرنسى إلى حد كبير ، ولكنه أصغر منه كثيرا ، فلا تزيد قدرة هذه المحطة على ٤٠٠ كيلووات .

وليس من المتوقع أن تساهم هذه المحطات فى حل مشكلة الطاقة بشكل واضح ، فان انتاجها مازال محدودا إلى حد كبير ، كما أنه لا يمكن اقامتها فى كل مكان ، بل تصلح فقط فى المناطق التى يكون فيها الفارق كبيرا بين مستوى الماء فى المد وفى الجزر .

حرارة الأرض مصدر للطـاقة

يستمد سطح الأرض حرارته من أشعة الشمس الساقطة عليه طوال اليوم ، وبذلك يكون سطح الأرض أكثر حرارة من طبقات التربة التى تليه مباشرة .

ولكننا إذا تعمقنا قليلا فى قشرة الأرض نجد أن درجة الحرارة ترتفع تدريجيا بزيادة العمق ، وتصل هذه الزيادة إلى نحو درجة واحدة مئوية كل ثلاثين مترا ، وفى بعض المناطق تزيد درجة الحرارة على ذلك .

وعلى الرغم من أن مركز الأرض يحتوى على صخور منصهرة ، إلا أن ارتفاع حرارة الطبقات العميقة من قشرة الأرض يعزى أساسا إلى وجود بعض المواد المشعة فى صخور هذه الطبقات ، وتمثل مثل هذه المواد المشعة مصدرا للحرارة لا يفنى على مر الزمن .

ومن الممكن نظريا استخدام هذه الطاقة الحرارية فى أى مكان فى الأرض ، ولكن الأمر ليس من السهولة بمكان ، فالأمر يحتاج إلى ابتكار وسائل للوصول إلى هذه الحرارة فى باطن الأرض ، ثم نقل هذه الحرارة إلى سطح الأرض للاستفادة منها .

وهناك بعض الأماكن التى تكون فيها هذه المصادر الحرارية قريبة من سطح الأرض ، وتقوم المياه الجوفية بنقل هذه الحرارة إلى سطح الأرض على هيئة نافورات أو ينابيع ساخنة يتصاعد منها الماء الساخن أو البخار ويمكن بذلك الاستفادة من هذه الحرارة بجهد يسير .

ومن أمثلة هذه الينابيع الحارة تلك النافورة الضخمة الموجودة فى « يلوستون »"Yellowstone" بالولايات المتحدة ، والتى يرتفع منها عمود من الماء الساخن والبخار ارتفاعه نحو ثلاثين مترا ، ويرتفع الرذاذ المتناثر منه إلى نحو ٧٥ مترا من سطح الأرض .

كذلك توجد بعض هذه الينابيع الحارة فى ايسلنده ، ويرتفع منها الماء والبخار إلى نحو ٤٥ مترا .

والماء الخارج من هذه الينابيع عادة ما يكون صافيا ، ولكنه يحتوى فى أغلب الأحوال على بعض السليكات الذائبة فيه ، ولذلك نجد حول أغلب هذه الينابيع قشور لامعة من مركبات السليكا متغيرة الألوان .

وفى بعض الأحيان يخرج الماء والبخار من هذه الينابيع مختلطا بكثير من الشوائب ، فبعض هذه الينابيع فى نيوزيلندا يخرج منها الماء الموحل فى لون الحبر الأسود ، ويندفع فى الهواء إلى ارتفاع قد يصل إلى ١٥٠ مترا فوق سطح الأرض .

الطاقة من الينابيع الحارة

كانت هناك بعض المحاولات الجادة لاستخدام البخار المتصاعد من الينابيع الحارة فى أغراض التسخين والتدفئة ، وكذلك فى توليد الكهرباء .

وقد بدأ استخدام البخار المتصاعد من باطن الأرض فى توليد الكهرباء عام ١٩٠٤ فى ايطاليا ، ثم استعمل بعد ذلك فى نيوزيلندا واليابان والولايات المتحدة والاتحاد السوفييتى .

وقد أقيمت وحدات توليد الكهرباء التى تستخدم البخار الطبيعى فى الولايات المتحدة بجوار حقل طبيعى للبخار فى ولاية كاليفورنيا يدعى « **الينابيع الساخنة** »"Hot Springs" ، ويتم فى هذه الوحدات جمع البخار من عدة آبار ، ثم ترشيحه مما قد يوجد فيه من فتات الصخور ، ويمرر بعد ذلك على التربينات التى تولد الكهرباء .

ونظرا لانخفاض درجة حرارة هذا البخار المتصاعد من الينابيع الساخنة ، وقلة ضغطه ، فان الجزء الذى يتوفر من الحرارة ويتحول إلى طاقة كهربائية يقل إلى حد ما عن ذلك القدر من الحرارة التى توفرها عادة أنواع الوقود التقليدية مثل الفحم والبترول ، والتى تستخدم عادة فى انتاج البخار فوق المسخن .

ومع ذلك فان هذه المحطات التى تدار بالبخار الطبيعى ، يكون تشغيلها أقل تكلفة من تشغيل المحطات الأخرى التى تدار بالبخار المحضر بحرق الوقود التقليدى ، هذا بالأضافة إلى أن الزمن اللازم لاقامة مثل هذه المحطات زمن قليل نسبيا .

وتبلغ قدرة هذه المحطات التى تولد الكهرباء بالبخار الطبيعى فى كاليفورنيا بنحو ٤٠٠ ميجاوات ، وان كانت قدرة هذا الحقل تقدر نظريا بنحو ١٠٠٠ إلى ٤٠٠٠ ميجاوات عند استغلاله بشكل كامل .

وقد كانت وحدات توليد الكهرباء التى تدار بالبخار الطبيعى فى منطقة « لارديريلو »"Larderello" بايطاليا ، هى أول وحدات من هذا النوع فى العالم ، وتبلغ قدرتها نحو ٣٠٠ ميجاوات ، كما أن هناك وحدات مماثلة فى نيوزيلندا تبلغ قدرتها ٢٠٠ ميجاوات .

وعلى الرغم من انخفاض تكاليف توليد الكهرباء بالبخار الطبيعى فانه ليس من المتوقع أن ينتشر استخدام هذه الطريقة فى توليد الكهرباء وذلك لأنه يصعب اكتشاف ينابيع حارة جديدة فى الأماكن التى تحتاج إلى انتاج الكهرباء .

ومن الملاحظ أن الينابيع الساخنة سابقة الذكر فى كل من كاليفورنيا ولارديريلو ، يتصاعد منها البخار الجاف فقط ، أى أنه بخار لا يصاحبه الماء الساخن ، وهذه حالة نادرة ، فأغلب الينابيع الحارة المعروفة يتصاعد منها الاثنان معا ، ويختلط فيها البخار بالماء الساخن .

وقد كانت أفضل النظريات التى قدمت لتفسير نشأة الينابيع الحارة ، تلك النظرية التى وضعها الكيميائى الألمانى « روبرت ولهلم بنزن »"Robert Wilhelm Bunsen" فى القرن التاسع عشر ، وما زالت هذه النظرية مقبولة حتى الآن .

وترتكز هذه النظرية على أن درجة غليان الماء تعتمد على الضغط الواقع على هذا الماء فتزيد درجة غليانه بزيادة الضغط ، وتقل بقلته . ومثال ذلك أن درجة غليان الماء عند سطح البحر تحت الضغط الجوى المعتاد تكون ١٠٠° م ، ولكن درجة غليانه تزيد الى ١٢٠° م على عمق ١٠ أمتار من سطح الأرض ، لأن الضغط الواقع على الماء عند هذا العمق يبلغ ضعف الضغط الجوى .

وعندما تلامس المياه الجوفية الصخور الساخنة على عمق كبير من سطح الأرض ترتفع درجة حرارتها إلى حد كبير ، ولكنها لا تغلى بسبب الضغط الكبير الواقع عليها فى باطن الأرض .

وعندما تقابل هذه المياه الساخنة شرخا رأسيا فى قشرة الأرض ، تندفع خلال هذا الشرخ بسرعة كبيرة ، وكلما صعدت المياه نحو سطح الأرض ، قل الضغط الواقع عليها ، وعندما تخرج المياه الساخنة إلى الهواء تتحول الى بخار يندفع فى الجو على هيئة نافورة حارة .

وعندما تكون درجة حرارة الماء فى باطن الأرض ليست مرتفعة بدرجة كافية ، فان جزءا من هذا الماء يتحول إلى بخار عند صعوده إلى سطح الأرض ، ويتبقى منه جزء آخر على هيئة ماء ساخن يندفع إلى الجو مصاحبا للبخار .

وعند اقتران الماء الساخن بالبخار ، فان القيمة الحرارية لهذا البخار تقل كثيرا ، وذلك لأن جزءاً كبيراً من الحرارة يتسرب مع الماء الساخن ، وتقل بذلك كفاءة التشغيل عن الحالة التى يستخدم فيها البخار الجاف .

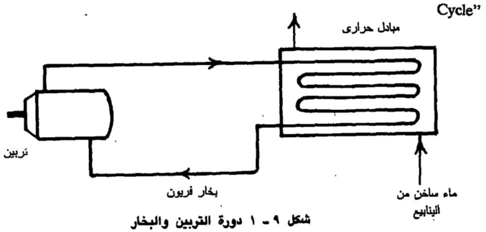
والتخلص من الماء الساخن الناتج من استخدام الينابيع الحارة ، يمثل مشكلة كبيرة ، ويتم التخلص منه عادة بالقائه فى أحد المجارى المائية التى قد تجاور مكان العمل أو يتم حقنه عند الضرورة فى باطن الأرض مرة أخرى .

وهناك كثير من الينابيع التى يتصاعد منها الماء الساخن دون أن يصحبه البخار ، ولم تستخدم هذه الينابيع كمصادر حرارية الا فى أضيق الحدود لانخفاض درجة حرارتها عن درجة الغليان .

وهناك أفكار متعددة تتعلق بالاستفادة من الطاقة الحرارية لمثل هذه الينابيع التى يخرج منها الماء الساخن فقط ، ويتلخص أحد هذه الأفكار فى امرار الماء الساخن الناتج من الينبوع ، فى مبادل حرارى لتسخين سائل آخر أكثر تطايرا مثل الفريون وتحويله إلى بخار .

وعند اجراء هذه العملية فى حيز مقفل ، فان بخار الفريون يمكن استخدامه فى ادارة تربين لتوليد الكهرباء ، وعندما يبرد هذا البخار ويتحول إلى سائل بعد خروجه من التربين ، يعاد إلى المبادل الحرارى مرة أخرى لاعادة تسخينه ، ثم تكرر هذه الدورة .

وقد سميت هذه الطريقة « بدورة التربين والبخار » "Vapour-Turbine Cycle" .



شكل ٩ ـ ١ دورة التربين والبخار

وتسمح هذه الطريقة بتوليد الكهرباء من مياه متوسطة الحرارة ، أى من مياه تقل درجة حرارتها كثيرا عن درجة الحرارة اللازمة لتشغيل تربينات البخار .

وقد أقيمت احدى هذه الوحدات لتوليد الكهرباء فى الاتحاد السوفييتى ، كما أن هناك بعض الوحدات التجريبية التى يجرى انشاؤها على الساحل الغربى للولايات المتحدة .

وهناك طريقة أخرى مقترحة للاستفادة من مياه الينابيع الحارة التى تحتوى على تركيزات عالية من الأملاح المعدنية ، ويطلق على هذه الطريقة اسم « الانسياب الكلى » "Total Flow" ، وتتلخص فى تحويل الطاقة الحرارية لخليط البخار المضغوط والماء الساخن ، إلى طاقة حركية مباشرة ، فيدفع هذا الخليط إلى التربين لادارته مباشرة .

ويمكن لمثل هذا النظام ، من الناحية النظرية ، أن يستخلص نحو ٦٠٪ من الطاقة الحرارية للينبوع الساخن .

وتستخدم المياه الساخنة المتصاعدة من الينابيع الحارة فى عمليات التدفئة والتسخين فى ايسلندا منذ عدة سنوات ، ويتم اليوم تدفئة نحو ٩٠٪ من المنازل فى ريكيافيك عاصمة ايسلندا بواسطة شبكة من الأنابيب تنقل هذه المياه الساخنة وتوزعها .

كذلك تستخدم هذه المياه الساخنة فى التدفئة فى كل من اليابان ونيوزيلندا والاتحاد السوفييتى والمجر والولايات المتحدة .

وقد استخدمت المياه الساخنة فى بعض الأغراض الصناعية فى نيوزيلندا ، كما استخدمت فى تسخين التربة وفى مزارع الأسماك واستخدمت فى الاتحاد السوفييتى فى تكييف الهواء .

الطاقة من صخور الأرض الساخنة

تجرى حاليا كثير من الدراسات المتعلقة بالاستفادة من حرارة الصخور الساخنة فى باطن الأرض ، لتوفير الطاقة لما حولها من مناطق .

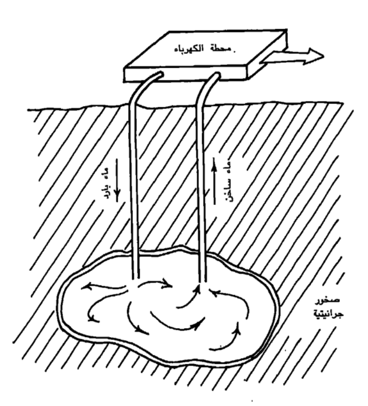
وقد كان العلماء الأمريكان فى معامل لوس الاموس أول من قاموا باجراء تجربة عملية فى هذا المجال فى بداية السبعينيات ، فتم حفر بئر رأسية بجوار أحد البراكين القديمة حتى وصل عمقها إلى ٣٠٠٠ متر تحت الأرض ، ودفع فيه تيار من الماء ليخرج من بئر أخرى على مسافة قريبة من البئر الأولى ، واستخدم الماء الخارج من هذه البئر ، وكانت درجة حرارته ١٨٠° م ، بعد أن تحول إلى بخار عند سطح الأرض ، فى ادارة تربين لتوليد الكهرباء .

وبعد نجاح هذا المشروع بدأ العلماء فى التخطيط لمشروع آخر مماثل فى عام ١٩٧٩ .

وقد بدأت تجارب مماثلة فى كثير من البلدان مثل ألمانيا الغربية واليابان

والاتحاد السوفييتي الذى أقام أحد هذه المشروعات فى أوكرانيا ، ووصل عمق هذه الآبار نحو ٢٠٠٠ متر كما فى انجلترا وإلى نحو ٥٠٠٠ متر فى فرنسا بجوار مدينة « فيشى » ، وكانت درجة حرارة الصخور الجرانيتية عند هذا العمق نحو ٢٠٠° م ، وقدرت الطاقة التى يمكن استنباطها من حرارة الأرض فى هذه المناطق بنحو ٣٤ × ١٠^١٧ سعرا ، وهو قدر هائل من الطاقة يساوى الطاقة الناتجة من محطة نووية كبيرة تصل قدرتها إلى ١٢٠٠ ميجاوات لمدة ٣٥٠ عاما .

والمبدأ الذى تقوم عليه هذه التجارب هو حفر بئر رأسية تصل إلى الصخور الصلدة الساخنة فى باطن الأرض ، ثم دفع سائل يستطيع نقل الحرارة ، مثل الماء خلال هذه البئر ، ليدور بين شقوق هذه الصخور وينتقل إليه بعض حرارتها ويحملها معه إلى سطح الأرض من بئر أخرى .



شكل ٩ ـ ٢ استخدام حرارة الأرض فى إنتاج الطاقة

وهناك كثير من الصعوبات التى تعترض تنفيذ هذه الطريقة ، فقد تتسرب المياه التى ندفعها فى البئر إلى بعض الطبقات المسامية من قشرة الأرض وبذلك لا يمكن إعادتها إلى سطح الأرض .

ويحتم ذلك ضرورة استكشاف المناطق التى تصلح لاستخدام طاقة الأرض الحرارية ، مع دراسة نوعية الصخور الموجودة بباطن الأرض فى هذه المناطق .

وقد انحصر البحث عن هذه المصادر الحرارية الأرضية فيما مضى فى الاماكن المحيطة بالينابيع الحارة الطبيعية ، واستخدمت فى ذلك بعض الطرق المستعملة فى البحث عن البترول ، مثل قياس الجاذبية الأرضية وتعيين التوصيل الكهربائى للكتل الصخرية ، واستخدام أجهزة القياس السيزمية وغير ذلك من الطرق .

ويهتم العلماء اليوم بخفض تكلفة عمليات الحفر العميق وذلك لأن أغلب الصخور الصلدة الساخنة التى تصلح مصدرا للحرارة العالية توجد على عمق كبير .

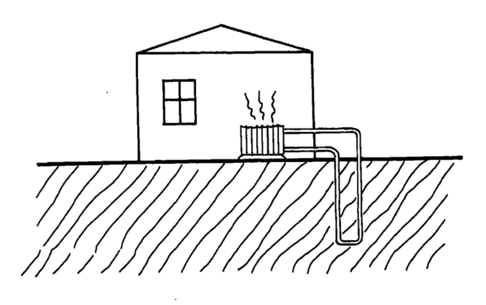
وترتفع تكلفة الحفر إلى حدود كبيرة عندما يزيد عمق الحفر على ٦٠٠٠ متر ، كما أن أجهزة القياس المستخدمة تفقد كثيرا من حساسيتها وقد تفقد صلاحيتها تماما عند درجات الحرارة المرتفعة التى تصل إلى ٢٠٠° م ، ولهذا فان البحوث الحديثة فى هذا المجال تتجه أساسا إلى تحسين طرق الحفر وطرق القياس معا .

ويمكن استخدام حرارة باطن الأرض فى أعمال التدفئة عن طريق نظام مقفل للماء . ويستخدم حاليا فى الأسواق نظام تدفئة عالى الكفاءة يمكن استخدامه فى المنازل وفى المحال العامة ، وهو يتكون من مضخة عادية تعمل بالتيار الكهربائى تضخ الماء فى انابيب متوسطة القطر من البلاستيك مدفونة تحت سطح الأرض على عمق متوسط .

وعادة ما تكون درجة حرارة جوف الأرض فى الشتاء أعلى من درجة حرارة الجو بمقدار مناسب ، ولذلك فان الماء الذى يدفع فى هذه الأنابيب ترتفع درجة حرارته إلى حد ما ، وعند مروره فى المبادلات الحرارية الموجودة بغرف المنزل يشيع بعضا من الدفء فى حجرات الدار .

ويمكن استخدام مادة سهلة التطاير مثل غاز البروبان فى هذه الأجهزة ، فترتفع درجة حرارتها عند ضغطها فى أجهزة التبادل الحرارى فتؤدى إلى تدفئة الحجرة فى الشتاء ، كما يمكن تركها لتتبخر وتتحول إلى غاز فى أجهزة التبادل الحرارى صيفا فتمتص الحرارة مما حولها وتؤدى إلى تكييف الهواء .

وتستخدم مثل هذه الأنظمة بكثرة فى كل من الولايات المتحدة وكندا والسويد ، ويبلغ عدد المستخدم منها حاليا نحو ٢٠,٠٠٠ ، وقد اشترك الباحثون



شكل ٩ ـ ٣ استخدام حرارة الارض فى تكييف الهواء

فى كل من الولايات المتحدة والسويد فى تطوير هذه الأنظمة وزيادة كفاءتها خلال السنوات العشر الأخيرة ، وهى تساعد على توفير نحو ٦٠٪ من تكاليف التدفئة المعتادة .

واستخلاص الطاقة من باطن الأرض له كثير من المميزات الواضحة ، فلا يحتاج الأمر هنا إلى عمليات ثانوية أخرى ، مثل عمليات التعدين والاستخراج من باطن الأرض ، كما أنها لا تحتاج لاعداد معين قبل تسويقها ولا تحتاج إلى ابتكار وسائل لنقلها أو تخزينها ، وهى أمور نصادفها دائما عند استخدامنا لمصادر الطاقة المستعملة اليوم ، مثل الفحم والبترول والغاز الطبيعى .

وعلى الرغم من أن الطاقة الحرارية لباطن الأرض لم تستغل حتى الآن بشكل جدى وعلى نطاق واسع ، فإن هناك آمالا عريضة فى أن يتم استغلال هذه الطاقة بشكل عملى فى السنوات القليلة القادمة ، خاصة وانها تتوفر فى كل مكان ، كما أنها طاقة نظيفة لا ينتج عن استعمالها أى تلوث لما حولها من بيئة .

ويعتقد بعض العلماء المهتمين بهذه الأمور ، إن الطاقة المستمدة من حرارة الأرض قد توفر نحو ١٠ ـ ١٥٪ من الطاقة اللازمة فى بعض الدول الصناعية عام ٢٠٠٠ .

استخدام طاقة الرياح

تتغير درجة حرارة الهواء عند ملامسته لسطح الأرض ، فهو يبرد ليلا ويسخن نهارا ، وتنشأ نتيجة لذلك حركة الرياح .

وتختلف سرعة الرياح كثيرا من مكان لآخر ، ففي بعض الأحيان تكون الرياح على هيئة نسيم لطيف ، وفي بعضها الآخر تزداد سرعتها زيادة كبيرة قد تصل إلى حد العاصفة والأعصار .

وقد وضع ادميرال بريطاني عاش في القرن التاسع عشر ويدعى « **سير فرانسيس بوفورت** » "Sir Francis Beaufort" مقياسا تقريبيا لسرعة الرياح ، اقامه على أساس قوة دفع الرياح لأشرعة السفن الشراعية المستعملة في ذلك الحين .

وقد عرف هذا المقياس باسم « **مقياس بوفورت لسرعة الرياح** » وما زال مستعملا حتى اليوم .

وقد قسم بوفورت سرعة الرياح إلى ثلاثة عشر مرتبة ، واعطى كل مرتبه منها رقما من صفر إلى اثنى عشر طبقا للجدول التالى ، كما وصف المظاهر الدالة على كل مرتبة وصفا دقيقا :

ومن الطبيعي أن سرعات الرياح التي تزيد على رقم ٨ في هذا المقياس لا تصلح للاستخدام في انتاج الطاقة لما تحدثه من دمار وتخريب ، ولذلك يجب اختيار الأماكن التي تقام فيها التجهيزات التي تستخدم طاقة الرياح بحيث تكون سرعة الرياح فيها مناسبة وكذلك لها صفة الدوام طوال العام .

وقد استخدمت طاقة الرياح منذ زمن طويل ، ففي هولندا استخدمت الرياح في تحريك طواحين الهواء التي أقيمت على ساحل البحر ، استعملت فيها مراوح ضخمة تحركها الرياح لتحرك بدورها الطاحون الموجود بقاع البرج .

رقم المقياس	سرعة الرياح كم/ساعة	وصف الرياح	مظاهرها
صفر	صفر ـ ١,٥	هادئة	الدخان يتصاعد رأسيا
١	١,٦ ـ ٥	نسيم	تحرك الدخان
٢	٦ ـ ١١	هواء خفيف	تحرك أوراق الشجر
٣	١٢ ـ ١٩	نسيم لطيف	تحرك أوراق الشجر وبعض الأغصان
٤	٢٠ ـ ٢٩	نسيم متوسط	تحرك الأغصان وتطاير الأوراق
٥	٣٠ ـ ٣٩	نسيم منعش	تحرك سطح الماء وترنح الأشجار الصغيرة
٦	٤٠ ـ ٥٠	نسيم قوى	تحرك الأغصان الكبيرة
٧	٥١ ـ ٦١	رياح قوية	انثناء الأشجار وصعوبة المشى
٨	٦٢ ـ ٧٤	رياح عاصفة	انكسار أطراف فروع الشجر
٩	٧٥ ـ ٨٧	رياح عاصفة قوية	انكسار مداخن المنازل
١٠	٨٨ ـ ١٠١	رياح عاصفة شديدة	انخلاع الشجر
١١	١٠٢ ـ ١٢٠	عاصفة كاملة	حدوث الدمار
١٢	اكثر من ١٢٠	أعصار	دمار شديد

كذلك أقيمت بالولايات المتحدة أبراج عالية تحمل مراوح ضخمة فى مواقع خاصة على سواحلها واستخدمت هذه المراوح فى انتاج الكهرباء ، وبلغ قطر بعض هذه المراوح نحو ٦٠ مترا .

وتخطط الولايات المتحدة حاليا لانشاء محطات للطاقة تستخدم فيها حركة الرياح لانتاج قدر كبير من الطاقة الكهربائية التى ستحتاجها عام ٢٠٠٠ ، وذلك حتى يمكن أن توفر قدراً معقولا من أنواع الوقود التقليدية المستعملة فى توليد الكهرباء .

وقد تبين من البحوث والدراسات التى أجريت فى هذا المجال ، أن المروحة التى يصل قطرها إلى نحو ثمانية أمتار ، تستطيع فى مواجهة ريح متوسطة أن تنتج حوالى ٢ ـ ٣ كيلووات من الكهرباء ، وهو قدر يكفى احتياجات المنزل المعتاد .

وتتميز محطات الطاقة التى تعمل بطاقة الرياح فى انه لا يصدر عنها ضوضاء ولا مواد ملوثة للبيئة ، ولذلك يمكن اقامتها بجوار المناطق السكنية دون حدوث ضرر ما .

وتتوافر طاقة الرياح اللازمة فى جمهورية مصر العربية فى كثير من المناطق مثل الساحل الشمالى وساحل البحر الأحمر ، وشبه جزيرة سيناء وفى منطقة شرق العوينات .

وقد تبين من بعض الدراسات التى أجريت فى هذا المجال أن سرعة الرياح فى منطقة العوينات تبلغ فى المتوسط نحو ثمانية أمتار فى الثانية ، أى نحو ٣٠ كيلو مترا فى الساعة ، وهى سرعة مناسبة تكفى لتوليد قدر من الكهرباء من مراوح كهربائية قطر كل منها نحو عشرين مترا يمكن عن طريقها استخراج المياه من الآبار الارتوازية لرى نحو ٢٥٠ ألف فدان من الأراضى القابلة للزراعة بهذه المناطق .

كذلك تبين من بعض هذه الدراسات التى قام بها فريق بحثى بتكليف من وزارة الكهرباء والطاقة ، أن منطقة خليج السويس بها سرعات هواء عالية على مدار العام تصلح لاقامة مجموعة من التربينات الهوائية تصل قدرتها إلى نحو ١٠٠٠ ميجاوات ، وهى تعادل قدرة محطة نووية كبيرة .

وهناك مشروعات لتوليد الكهرباء واستخراج المياه من باطن الأرض فى رأس غارب والغردقة ولصناعة الثلج المجروش بأبو الغصون لخدمة الصيادين فى البحر الأحمر .

ومن المنتظر أن يعم استعمال طاقة الرياح لتوليد الكهرباء واستخراج المياه من باطن الأرض فى كثير من البلدان ، فهذه المحطات قليلة التكاليف ويمكن صنع كثير من أجزائها محليا ، وكل ما تتطلبه وجود رياح متوسطة القوة ومنتظمة السرعة على مدار العام .



استخدام غاز الهدروجين في انتاج الطاقة

يعتبر غاز الهدروجين على رأس قائمة أنواع الوقود التى يمكن استخدامها بعد أن تستنفد أنواع الوقود التقليدية المستعملة اليوم ، مثل الفحم وزيت البترول والغاز الطبيعى .

وغاز الهدروجين من أكثر الغازات وفرة فى هذا الكون ، وهو يمثل المادة الخام التى تكونت منها كل العناصر الأخرى فى الفرن النووى الموجود بقلب كل النجوم .

وعلى الرغم من وفرة غاز الهدروجين فى قلب النجوم وفى الفراغ الواقع بين المجرات ، فان الغلاف الجوى للأرض لا يوجد به غاز الهدروجين الحر الطليق ، ولكنه يوجد بنسبة قليلة متحدا مع غيره من العناصر على هيئة مركبات فى قشرة الأرض ، ويوجد بنسبة عالية متحدا مع الاكسجين فى الماء الذى يملأ البحار والمحيطات .

ويستخدم غاز الهدروجين حاليا فى الصناعة فى كثير من الأغراض ، فهو يستعمل فى عمليات الاختزال وفى صنع بعض أنواع اللدائن وبعض أنواع المخصبات الزراعية وما اليها ، ولذلك فهو يحضر بكميات كبيرة تصل إلى نحو ١٠ تريليونات قدم مكعب فى العام .

ويمكن تحضير غاز الهدروجين بطرق متعددة ، فيمكن تحويل بعض أنواع الوقود أو بعض مقطرات البترول إلى غاز غنى بالهدروجين ، كما يمكن تحضيره بالتحليل الكهربائى للماء ، وهذه الطريقة الأخيرة تعطينا غازا نقيا بدرجة كبيرة ، ولهذا تعتبر المياه المتوافرة فى البحار والمحيطات المصدر الرئيسى لغاز الهدروجين .

وقد تنبأ الكاتب الفرنسى « **جول فرن** » عام ١٨٧٤ بهذه الحقيقة فقال فى كتابه « جزيرة الألغاز » « أعتقد أن الماء سيستعمل يوما ما كوقود ، وأن

الهدروجين والاكسجين اللذين يتركب منهما سيوفران منفردين أو مجتمعين ، مصدرا لا ينضب من الحرارة والضوء » .

ويرتبط الهدروجين بالاكسجين فى جزىء الماء ارتباطا وثيقا ، ويحتاج الأمر إلى توافر قدر من الطاقة حتى يمكن فك هذا الارتباط والحصول على كل منهما على حده . ويمكن فك هذا الارتباط بامرار تيار كهربائى فى الماء ، فيتحلل الماء إلى عنصريه من الهدروجين والاكسجين ، ولكن العائق الرئيسى أمام هذه العملية ، أن كمية الكهرباء اللازمة لاتمام التحليل تتكلف كثيرا .

وتقوم النباتات بتحليل الماء إلى عنصريه ببساطة مذهلة ، فهى تستخدم أشعة الشمس ومادة الكلوروفيل الموجودة بالكلوروبلاست فى فصل الهدروجين عن الاكسجين فى جزيئات الماء ، ولكن النباتات تستخدم الهدروجين الناتج بعد ذلك فى الاتحاد مع غاز ثانى اكسيد الكربون لتكوين الكربوهدرات ، وينطلق الاكسجين فى الهواء .

وقد حاول بعض العلماء أن يقلدوا النباتات فى عملها وقاموا بابتكار كلوروبلاست صناعية ، وهى مواد تقوم بنفس عمل كلوروبلاست النبات ، ونجحت بعض هذه التجارب على النطاق المعملى .

وقد نجح عالم كيميائى يدعى « **ملفن كالفن** » من جامعة كاليفورنيا بالولايات المتحدة ، والذى حصل على جائزة نوبل عام ١٩٦٠ ، فى انتاج كلوروبلاست صناعية على شكل كريات دقيقة من الزيت تطفو فوق سطح الماء ، واستطاعت هذه الكريات أن تساعد على اطلاق الهدروجين من جزيئات الماء .

وقد استخدم « كالفن » فى بحوثه كثيراً من المركبات ، فاستخدم أصباغا من مركبات كيميائية تسمى « **البورفورين** » كما استعمل بعض الفلزات كعوامل مساعدة مثل « **البلاتين والروثينيوم** ، وبعض **مركبات الفوسفولبيدات** ، ولكن انتاج الهدروجين من الماء بهذه الطريقة لم يتعد نسبة ٤٪ فى أفضل الحالات .

وقد قام علماء آخرين بأخذ الكلوروبلاست من نبات السبانخ وأضافوا اليها مواد حافزة تمنع اتحاد الهدروجين بعد تكوينه مع ثانى اكسيد الكربون وتسمح بذلك بانطلاقه حرا فى الهواء . وقد اعتقد هؤلاء العلماء أن هذا النوع الجديد من الكلوروبلاست الذى ينتج الهدروجين يمكن الحصول عليه بزرع مساحات شاسعة من السبانخ ، وأنه يمكن أن يوفر الطاقة فى يوم من الأيام لحضارة بأكملها ! .

وحتى الآن تعتبر طريقة التحليل الكهربائى للماء أفضل الطرق لانتاج الهدروجين ، ويمكن الحصول على التيار الكهربائى اللازم من الطاقة الشمسية .

وقد جرت بعض المحاولات الجادة لاستخدام غاز الهدروجين كوقود فى

محركات الاحتراق الداخلي في محركات السيارات وكذلك في توليد الكهرباء بواسطة خلايا الوقود .

ولا يسبب غاز الهدروجين أى تلوث للبيئة ، فهو عندما يحترق يعطى بخار الماء وهو مكون طبيعي من مكونات الهواء . ومازالت هناك بعض الصعوبات التى تعترض استخدام هذا الغاز في مثل هذه الأغراض . وأهم هذه الصعوبات أن غاز الهدروجين سريع الانتشار ، وذلك بسبب صغر حجم جزيئاته التى تستطيع أن تمر في مسام جدران الأوعية الحافظة له ، ولذلك لابد من صنع نوع خاص من الاوعية يمكن حفظه فيها .

استخدام الهدروجين المسال

يتحول غاز الهدروجين إلى سائل بالضغط والتبريد . وقد فكر بعض العلماء المهتمين بالطاقة ، في استخدام الهدروجين المسال في انتاج الطاقة بدلا من استخدام الغاز .

ولا يسيل غاز الهدروجين الا عندما تصل درجة حرارته إلى – ٢٥٢° م – وقد وجد أنه يتعذر العمل بهذا السائل شديد البرودة بطريقة عملية ، كما أنه يصعب حفظه واستخدامه بشكل عملي في الصناعة أو كوقود للسيارات وهو بهذه الحالة .

كذلك فان الهدروجين السائل بالغ الخفة ، فبينما يكون حجم الكيلوجرام الواحد من الماء مساويا للتر ، فان الكيلو جرام الواحد من الهدروجين المسال يشغل أربعة عشر لترا ، ولهذا فان الغاز المسال يحتاج إلى خزان كبير الحجم لتخزين قدر صغير منه ، كما يجب أن يكون هذا الخزان سميك الجدار ثقيل الوزن حتى يستطيع أن يتحمل الضغط المرتفع للغاز المسال .

وعند استخدام غاز الهدروجين المسال لادارة محرك السيارة بدلا من الجازولين ، فاننا نجد أن وزن الغاز المسال بالاضافة إلى وزن الخزان الثقيل الحاوى له ، يزيد بمقدار ثلاثين مرة على وزن الجازولين الذى يعطى نفس القدر من الطاقة .

ويلاحظ أن الخزان الثقيل الحاوى للهدروجين المسال يمثل وحده نحو ٩٩٪ من هذا الوزن ، كما أنه يشغل حجما كبيرا يزيد بمقدار ٢٤ مرة على حجم الخزان اللازم لاحتواء قدر مكافىء من الجازولين .

ويتضح من ذلك أن هناك كثيرا من المشاكل التى تصاحب استخدام

الهدروجين المسال فى ادارة محركات السيارات ، وقد تقوم بعض هذه المشاكل بالغاء صلاحيته كلية للاستعمال فى هذا المجال .

وهناك نقطة أخرى يجب أن تؤخذ فى الاعتبار ، وهى النسبة بين مقدار الطاقة اللازمة لاسالة الغاز ، ومقدار الطاقة الناتجة من هذا الغاز المسال عند حرقه على هيئة وقود .

وعند تطبيق هذه القاعدة على غاز الهدروجين ، نجد أنه يحتاج إلى ضغط مرتفع يصل إلى نحو ١٣٦ جوا لتحويله إلى سائل ، وللوصول إلى هذا الضغط العالى فاننا يجب أن تستخدم قدرا كبيرا من الطاقة يصل إلى نحو ٨٠٪ من الطاقة الناتجة عن حرق الهدروجين المسال .

ويتضح من ذلك أن حصيلتنا النهائية من الطاقة الناتجة من حرق الهدروجين المسال لن تزيد على ٢٠٪ فقط ، وبذلك فان الغاز المسال لن يكون حلا مثاليا لتوفير الطاقة .

ويبدو مما تقدم أنه يجب أن نستخدم غاز الهدروجين كما هو دون اسالته ، حتى نحصل على قدر وافر من الطاقة .

وتنشأ عن ذلك مشكلة أخرى رئيسية ، وهى الكيفية التى يمكن بها تخزين كميات كافية من هذا الغاز بطريقة اقتصادية وبطريقة آمنة .

استخدام هدريدات الفلزات

تعتبر هدريدات الفلزات من أفضل الحلول التى قدمت لحل مشكلة تخزين غاز الهدروجين .

وهدريدات الفلزات عبارة عن مركبات تتكون باتحاد بعض الفلزات مع غاز الهدروجين ، وتتحد أغلب الفلزات مع الهدروجين لتكوين مثل هذه الهدريدات ، وقد يحدث التفاعل فى بعض الحالات بطريقة مباشرة ، أى بمجرد ملامسة الغاز لسطح الفلز .

$$M + H_2 \rightleftharpoons MH_2 + \text{حرارة}$$

هدريد الفلز   هدروجين فلز

ويلاحظ من معادلة التفاعل السابقة أن الاسهم الدالة على سير التفاعل

تشير إلى كلا الاتجاهين ، ويعنى ذلك أن التفاعل انعكاسى ، أى أنه يمكن أن يسير فى كلا الاتجاهين باختلاف الظروف من حالة إلى أخرى .

والظروف المؤثرة على هذا التفاعل هى الضغط ودرجة الحرارة ، فعند زيادة الضغط الواقع على التفاعل ، يزداد ضغط غاز الهدروجين فيسرى التفاعل إلى يمين المعادلة أى إلى تكوين مزيد من الهدريد ، وإذا قل ضغط غاز الهدروجين ، فان التفاعل يسير فى اتجاه اليسار ويتفكك هدريد الفلز إلى فلز وغاز الهدروجين .

كذلك فان اتحاد الفلز مع غاز الهدروجين ينتج عنه قدر من الحرارة يعرف باسم « **حرارة تكوين الهدريد** » ، ولكى يتفكك هذا الهدريد يجب أن نعطيه نفس هذا القدر من الحرارة مرة أخرى ، حتى يتحول إلى فلز وهدروجين .

وهذه الخواص الانعكاسية هى أهم خواص الهدريدات ، وهى التى تجعلها صالحة لتخزين غاز الهدروجين عند بدء التفاعل تحت الضغط ، وصالحة أيضا لانتاج الهدروجين لسهولة تفككها بالحرارة .

وعادة ما يستعمل مسحوق الفلز عند تكوين الهدريد ، وذلك لزيادة مساحة سطح الفلز الملامس لغاز الهدروجين .

وتستطيع أغلب الفلزات أن تمتص قدرا كبيرا من غاز الهدروجين ، بل يستطيع بعض منها أن يختزن كمية من الهدروجين تزيد على ما يوجد منه فى نفس الحجم من الهدروجين السائل .

ويتناسب ثبات الهدريد مع الحرارة اللازمة لتكوينه ، فكلما زادت حرارة تكوين الهدريد ، زادت الحرارة الّتى تلزم لتفككه ، ويزيد تبعا لذلك ثبات هذا الهدريد .

وكى يكون الهدريد مناسبا للاستخدام فى توليد الطاقة ، يجب أن تستوفى فيه عدة شروط ، أهمها أن يكون الهدريد سهل التكوين وسهل التفكك ، ولذلك فان الهدريدات التى تتفكك ويتصاعد منها غاز الهدروجين عند درجات حرارة تزيد على ٣٠٠° م ، لا يمكن استخدامها فى توليد الطاقة لأنها ستكون شديدة الثبات .

كذلك يجب الا يكون الهدريد سريع التفكك ، لأن ذلك يثير بعض الصعوبات عند تكوينه ، فيستلزم الأمر زيادة ضغط غاز الهدروجين فوق سطح الفلز إلى حدود كبيرة حتى يتكون الهدريد ، مما يرفع من تكلفته ويجعله قليل القيمة اقتصاديا .

ويجب كذلك أن يكون الفلز المستخدم متوافرا ورخيص التكاليف ، وأن يكون الهدريد الناتج منه صالحا للاستعمال لفترة طويلة تشمل عددا كبيرا من دورات التفكك والتكوين .

وعند تطبيق هذه الشروط على الهدريدات المعروفة ، نجد أن أغلب الهدريدات التى تتكون باتحاد فلز واحد مع الهدروجين لا تحقق المطلوب منها ، فيما عدا هدريد الماغنسيوم ، فهذا الهدريد هو الوحيد بين هذه الهدريدات الذى يصلح للاستخدام ، لأن غاز الهدروجين يتصاعد منه فى درجات حرارة تقل عن ٣٠٠°م ، فهو يتفكك تحت الضغط الجوى المعتاد عند ٢٨٩° م .

وكما يتفاعل غاز الهدروجين مع الفلزات النقية ، فهو يتفاعل أيضا مع السبائك التى تتكون من أكثر من فلز ، ولذلك فانه يمكن استخدام بعض السبائك فى تخزين غاز الهدروجين .

ويطلق على مثل هذه الهدريدات المختلفة اسم « **الهدريدات الثلاثية** » "Ternary Hydrides" لأنها تتكون عادة من سبيكة من فلزين ومن الهدروجين ، ومن أمثلتها هدريد الحديد والتيتانيوم ،($Fe\ Ti\ H_2$) وهو يعتبر من اصلح الهدريدات لاختزان الهدروجين ، وكذلك هدريد اللانثانوم والنيكل ($La\ Ni_5\ H_6$) وإن كان الهدريد الأول أقل تكلفة من الهدريد الأخير .

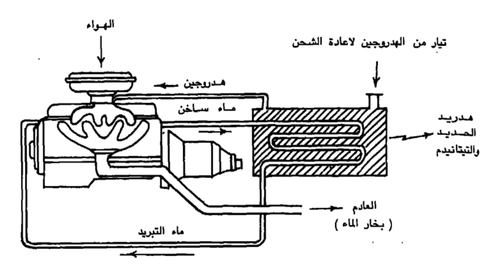
وعند مقارنة هذه الهدريدات المختلطة مع هدريد المغنسيوم($Mg\ H_2$) نجد أن هذا الأخير يحتوى على نسبة أعلى من الهدروجين بالنسبة لوحدة الوزن ، وهو كذلك أقل تكلفة من الهدريدات الثلاثية ، ولكنه كما بينا من قبل يحتاج إلى درجة حرارة عالية لتكوينه وتفككه .

وتحتاج بعض السبائك إلى شىء من التنشيط قبل تفاعلها مع الهدروجين ، كما أن بعضا منها قد يفقد قدرته على التفاعل مع الهدروجين إذا احتوى تيار غاز الهدروجين المار عليها على بعض الشوائب ، مثل أول اكسيد الكربون أو ثانى اكسيد الكبريت ، أو حتى احتوى على بعض الهواء ، ويمكن عادة ازالة تأثير هذه الشوائب بتنشيط هذه السبائك مرة أخرى بتسخينها .

ونظرا لأن هدريدات الفلزات تختزن قدرا كبيرا من غاز الهدروجين فقد اتجه الرأى إلى استخدامها فى ادارة محركات السيارات .

وقد اجريت بعض التجارب فى هذا المضمار فى كل من المانيا والولايات المتحدة ، واستخدمت بعض هذه الهدريدات فى محركات الاحتراق الداخلى فى السيارات ، كما استخدمت فى ادارة محطات القوى لتوليد الكهرباء .

وتعتبر محركات السيارات التى تستخدم الهدروجين كوقود ، محركات نظيفة ، فلا ينتج منها الا بخار الماء ، وبعض آثار قليلة من اكاسيد النتروجين التى تنتج من تفاعل اكسجين ونتروجين الهواء ، وبذلك فهى لا تلوث الهواء ولا تسبب ضررا للبيئة المحيطة بها .



شكل ١٠ ـ ١ استخدام هدريدات الفلزات فى ادارة محرك السيارة

ويتم توفير الحرارة اللازمة لتفكك الهدريد بامرار تيار من الماء فى المحرك ، فترتفع درجة حرارة هذا الماء نتيجة لاحتراق الهدروجين فى المحرك ، ثم يدفع هذا الماء الساخن إلى مبادل حرارى فى داخل الهدريد ، ليرفع درجة حرارته فيتفكك معطيا تيارا ثابتا من غاز الهدروجين .

وعندما يستنفد الهدريد ، أى عندما يتوقف تصاعد غاز الهدروجين ، يعاد شحن السبيكة بامرار تيار من الهدروجين عليها تحت ضغط أعلى قليلا من ضغط الاتزان ، مع امرار تيار من الماء البارد فى المبادل الحرارى الموجود فى داخل الهدريد ، لامتصاص الحرارة الناتجة أثناء تكون الهدريد .

ومن الملاحظ أن وزن سبيكة الحديد والتيتانيوم المستخدمة فى تكوين الهدريد ، ثقيل إلى حد كبير ، ويعتبر حملا زائدا على محرك السيارة ، ولذلك فانه من المقترح أن يستخدم نوعان من هذه الهدريدات معا للتغلب على مشكلة الوزن ، بحيث تكون احدهما سبيكة الحديد والتيتانيوم ذات الكفاءة العالية ، والثانى هدريد المغنسيوم الذى يتميز بخفة وزنه .

وقد استخدمت هذه الهدريدات فى ادارة محرك سيارة (أوتوبيس)« ديملر بنز »" Daimler - Benz " فى ألمانيا الغربية ونجحت هذه التجربة نجاحا مقبولا .

وقد اجريت كذلك تجارب على بعض محركات السيارات التى تدار بخليط من الجازولين وغاز الهدروجين ، واستخدم تيار الهدروجين الناتج من الهدريدات لتعزيز الجازولين ولزيادة كفاءته وقيمته الحرارية ، وبالتالى زيادة كفاءة المحرك .

وحتى يتم التغلب على وزن السبائك التى تكون الهدريدات ، فقد اقترح استخدام مثل هذه الهدريدات بصفة أساسية فى ادارة محركات الاحتراق الداخلى الثابتة ، والتى لا يمثل وزن المحرك فيها عاملا أساسيا ، مثل محطات القوى ومحطات توليد الكهرباء .

وقد استخدمت هذه الهدريدات فى الولايات المتحدة منذ عام ١٩٧٦ ، فحضر غاز الهدروجين من الماء بالتحليل الكهربائى ، ثم اختزن هذا الغاز على هيئة هدريد الحديد والتيتانيوم ، واستخدم تيار الهدروجين الناتج من تسخين هذا الهدريد فى ادارة خلية وقود لانتاج الكهرباء قدرتها ١٢,٥ كيلووات ، لمدة عامين متصلين ، استخدم فيهما الهدريد فى ٦٠ دورة من دورات التفكك والتكوين .

كذلك استخدمت بعض الهدريدات غير الثابتة ، أى التى تتفكك بسرعة معقولة ، فى صنع بعض المضخات المستعملة فى استخراج المياه من باطن الأرض .

وتتم عملية ضخ الماء بتبادل تكوين الهدريد بالتبريد ، ثم تفككه بالتسخين ، فيقل الضغط عند تكوين الهدريد ، ويزيد الضغط عندما يتفكك .

وقد قامت شركة فيلبس بهولندا بصنع جهاز ضاغط للهواء يعتمد على وقود الهدروجين الناتج من هدريد اللانثانوم والنيكل ، كما استخدمت بعض هذه الهدريدات فى عمليات التبريد والتكييف .

ومن الملاحظ أن عمليات الضخ وعمليات التبريد تتطلب استعمال جهاز مقفل يوضع فيه الهدريد ، ولذلك يعاد استخدام غاز الهدروجين الناتج من تفكك الهدريد ، فى تكوينه مرة أخرى ، وبتكرار دورة تكوين الهدريد وتفككه يتم الحصول على الطاقة المطلوبة .

وعادة ما يستخدم فى مثل هذه الأجهزة نوعان من الهدريدات يختلف كل منهما عن الآخر فى حرارة تكوينه وسرعة تفككه .

ويعتبر خطر الحريق من أهم العقبات التى تقابل استخدام الهدريدات فى توليد الطاقة ، فغاز الهدروجين سريع الاشتعال ، كما أن مسحوق الفلزات قد يشتعل فى الهواء عند ارتفاع درجة حرارته .

ومن الطبيعى أننا لا نتوقع خطر الحريق الا عند وقوع حادث للصندوق الحاوى للهدريد ، ولكن الخطر الناتج عن ذلك لا يزيد فى نظر الكثيرين على الخطر الناتج من استعمال الجازولين فى محركات السيارات العادية ، بل قد يكون أقل خطورة من ذلك بكثير .

ومن المعتقد أن غاز الهدروجين سيصبح من أهم أنواع مصادر الطاقة فى السنوات القليلة القادمة ، وأنه سيستعمل وقودا فى المصانع وفى محطات القوى وفى المنازل والمتاجر فى عمليات التدفئة والتكييف ، خاصة وأن مصادر الطاقة التقليدية مثل زيت البترول والغاز الطبيعى يقدر لها أن تنفد سريعا فى أوائل القرن القادم ، أو يقل المستخرج منها من باطن الأرض كما فى حالة الفحم .

ويترتب على ذلك أن هدريدات الفلزات ستصبح ذات أهمية خاصة للاحتياج اليها فى تخزين الهدروجين ، ولا يستبعد أن تصبح الآلات التى تدار بغاز الهدروجين عن طريق الهدريدات شيئا مألوفا فى بداية القرن القادم .

خلايا الوقــود
Fuel Cells

تتكون خلية الوقود من قطبين تفصلهما مادة موصلة للكهرباء تعرف باسم « **الالكتروليت** » " Electrolyte "

وقد صنعت أول وأبسط خلية وقود عام ١٨٣٩ ، وقام بابتكارها واحد من المشتغلين بالعلم فى ذلك الزمان يدعى « **سير وليم جروف** » "Sir WilliamGrove " ، وقد أهملت هذه الخلية زمنا طويلا حتى فكر الانسان أخيرا فى استخدامها لانتاج الطاقة .

وتعمل خلية الوقود عن طريق اكسدة غاز الهدروجين باكسجين الهواء ، فعند امرار تيار من غاز الهدروجين حول القطب السالب فى خلية الوقود ، وامرار تيار من غاز الاكسجين أو من الهواء على قطبها الموجب ، فان ذلك يتسبب فى انطلاق الالكترونات من قطب إلى آخر فى الدائرة الخارجية ، وبما أن انتقال الالكترونات فى الموصلات هو ما نعرفه باسم **التيار الكهربائى** ، فان هذا التيار يمكن استخدامه فى اضاءة مصباح أو ادارة آلة ما .

وعادة ما يكون القطب السالب للخلية مسامى التركيب ، ويحمل فى ثناياه عاملا مساعدا يستطيع أن يحول جزيئات الهدروجين[H_2] إلى ايونات [H+] والكترونات .

وتنطلق هذه الالكترونات فى الدائرة الخارجية ، بينما تنتقل ايونات الهدروجين [H^+] فى الالكتروليت ، إذا كان هذا الالكتروليت حمضيا ، وتذهب إلى القطب الآخر ، وهناك تستقبل الالكترونات الآتية من الدائرة الخارجية وتتفاعل مع غاز الاكسجين مكونة الماء .

وتتميز خلايا الوقود ببساطتها وكفاءتها العالية ، كما أنه لا يصدر منها أى ضجيج من نوع ما ، ولا تعطى أثناء عملها نواتج ضارة تلوث الهواء ، فنواتج احتراق غاز الهدروجين هى بخار الماء فقط ، وهو مكون طبيعى فى الغلاف الجوى للأرض .

وتعطى خلايا الوقود تيارا مستمرا ، واقصى جهد يمكن الحصول عليه منها يساوى ١,٢٣ فولت ، ولكن التجارب التى أجريت على خلايا الوقود أثبتت أنه عمليا لا يمكن الحصول على هذا المقدار نظرا لفقد بعض الجهد داخل الخلية نفسها ، وأقصى جهد تم الحصول عليه عمليا لم يزد على نحو ٠,٨ فولت .

ويمكن صنع خلية وقود مبسطة بوضع قطبين من الكربون محملين بقليل من فلز البلاتين كعامل مساعد ، فى حمض الكبريتيك .

وعند امرار تيار من غاز الهدروجين على أحد هذين القطبين ، وامرار تيار من غاز الاكسجين ، أو من الهواء ، على القطب الثانى ، فان مثل هذه الخلية البسيطة تعطينا فولتا واحدا من التيار المستمر .

ولا تصلح مثل هذه الخلية البسيطة عمليا لتوليد الكهرباء ، وذلك لأن اقطاب الكربون ذات سطح صغير لا يسمح بسريان التفاعل بمعدل مرتفع ، كما أن حمض الكبريتيك لا يعتبر الكتروليتا مثاليا ، نظرا لعدم ثباته وتفككه بمرور الوقت ، هذا بالاضافة إلى أن تجميع عدد كبير من مثل هذه الخلايا ليس من السهولة بمكان .

ويمكن الاستفادة من المبدأ الذى تقوم عليه خلية الوقود وتطويره قليلا ، فيمكن وضع الالكتروليت الموصل للكهرباء على هيئة حشوة رقيقة بين قطبين مسامين ، يحمل كل منهما فى ثناياه العامل المساعد المطلوب .

وتعطى المسامية العالية للاقطاب مساحة هائلة لسطح كل قطب ، مما يرفع كثيرا من معدل التفاعل المطلوب .

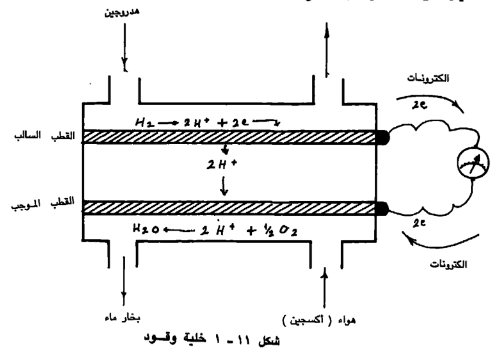
كذلك يمكن تجميع مثل هذه الخلايا على هيئة أعمدة كبيرة ، يتكون كل منها من عشرات من هذه الخلايا ، وتعطى مثل هذه الأعمدة جهدا كهربائيا عاليا ، هو عبارة عن حاصل ضرب الفولت الناتج من كل بطارية فى عدد البطاريات المستعملة ، فى هذا التجمع .

وفى احدى التجارب الحديثة تم تجميع ٥٠٠ خلية وقود فى عمود واحد ، واستخدم حمض الفوسفوريك كالكتروليت فى هذه الخلايا ، واعطت كل خلية منها نحو ٥٠٠ وات تحت جهد يصل إلى ٠,٦٥ فولت ، واستعمل فى هذه الخلايا تيار من الغازات الغنية بالهدروجين الناتج من النافثا .

وقد اختير حمض الفوسفوريك كالكتروليت فى هذه الخلايا لأنه أكثر ثباتا من حمض الكبريتيك ، ويسمح بتشغيل الخلية عند درجات حرارة متوسطة تتراوح بين ١٥٠ ـ ٢٠٠°م.

وعند درجات حرارة تقل عن ١٥٠° م ، يكون توصيل حمض الفوسفوريك للتيار الكهربائى رديئا إلى حد ما ، كما أن زيادة درجة حرارة الخلية على ٢٠٠° م تؤدى إلى تأثر المواد المكونة للاقطاب وتلفها .

ويمكن استبدال حمض الفوسفوريك بالكتروليتات أخرى فى هذه الخلايا ، فيمكن استعمال مصهور الكربونات مثلا ، ولكن ذلك يتطلب رفع درجة حرارة خلية الوقود إلى حدود عالية تصل إلى نحو ٦٠٠ ـ ٧٠٠°م ، كما أن ذلك يتطلب امرار تيار من الغاز يحتوى على اكاسيد الكربون بالاضافة إلى غاز الهدروجين .



شكل ١١ ـ ١ خلية وقـود

وعند استخدام قاعدة فى خلية الوقود مثل هدروكسيد البوتاسيوم ، فانه يمكن للخلية أن تعمل بكفاءة عند درجات حرارة منخفضة نسبيا تتراوح بين ٥٠ و ١٥٠° م ، ولكن ذلك يقتضى أن تكون الغازات الداخلة إلى الخلية ، سواء مع تيار الهدروجين أو تيار الهواء ، خالية تماما من غاز ثانى اكسيد الكربون ، لأن هذا الغاز الأخير يتفاعل بسهولة مع الهدروكسيد ويحوله إلى كربونات البوتاسيوم ، فتقل بذلك قدرة الخلية بالتدريج حتى تتلف فى نهاية الأمر .

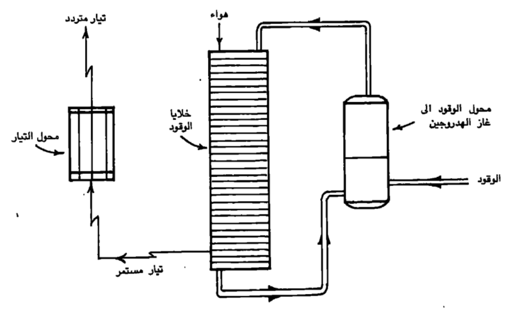
وقد تضمنت بعض التجارب التى أجريت فى هذا المجال تجميع عدد من خلايا الوقود المحتوية على حمض الكبريتيك ، كما تم تجميع عدد آخر من خلايا الوقود التى استخدمت فيها بعض البوليمرات والراتنجات ، ومن الناحية النظرية البحتة ، فلا توجد هناك حدود لكفاءة مثل هذه الخلايا .

ولا ينتج عن استعمال خلايا الوقود أية مواد ملوثة من أى نوع ، وذلك لأنها تعتمد على التفاعل الكهروكيميائى فقط ، وحتى فى الحالات التى يستعمل فيها الفحم أو زيت البترول فى انتاج غاز غنى بالهدروجين، فانه يمكن امتصاص ما بهذا الغاز من اكاسيد الكبريت أو اكاسيد النتروجين قبل ادخال هذه الغازات فى الخلايا ، وبذلك يكون بخار الماء الناتج من تفاعل غاز الهدروجين مع الاكسجين خاليا تماما من هذه الغازات والشوائب الضارة .

وهناك ميزة أخرى لخلايا الوقود ، وهى أنه لا ينتج عن تشغيلها ضوضاء أو ضجيج مثل بقية محطات القوى الأخرى ، ولذلك فانه يمكن اقامة محطات توليد الكهرباء التى تدار بخلايا الوقود فى أى مكان فى وسط المدن وفى المناطق الآهلة بالسكان ، مما يوفر قدرا كبيرا من التكاليف عند توزيع الطاقة الكهربائية الناتجة منها .

يضاف إلى ذلك أن خلايا الوقود كلها متشابهة فى التركيب ، وبذلك يمكن صناعتها على نطاق كبير مما يقلل كثيرا من تكلفتها ، ثم تجمع بعد ذلك فى أعمدة بأى عدد مطلوب ، ويخالف هذا تماما ما تتطلبه محطات القوى الأخرى سواء كان منها الحرارية أو النووية ، التى يجب أن تنشأ فى مواقعها .

ويمكن استخدام وحدات مجمعة صغيرة من هذه الخلايا لتوفير الطاقة فى بعض المبانى الكبيرة ، أو فى بعض المتاجر الضخمة ، التى قد تحتاج إلى نحو



شكل ١١ ـ ٢ استخدام خلايا الوقود فى توليد الكهرباء

٢٥ ـ ٢٠٠ كيلووات من الكهرباء . ومن الممكن استخدام الغاز الطبيعى الذى يحتوى على قدر كاف من غاز الهدروجين فى مثل هذه الحالات .

ويوفر هذا الأسلوب كثيرا فى استهلاك التيار الكهربائى ، بجانب أنه يمكن استخدام الحرارة الناتجة من الخلايا فى عمليات التدفئة والتسخين فى هذه المبانى أو المتاجر ، ويقدر الباحثون فى هذا المجال ، أن كفاءة توليد الكهرباء والحرارة من هذه الخلايا ستصل مستقبلا إلى نحو ٨٠٪ .

ولا تحتاج خلايا الوقود عند استخدامها فى توليد الكهرباء إلا إلى جهاز يحول الوقود إلى غاز غنى بالهدروجين ، وجهاز آخر يحول التيار المستمر الناتج منها إلى تيار متردد حتى يتمشى مع تيار الشبكة الكهربائية العادية .

وعلى الرغم من أن حمض الفوسفوريك يعتبر حاليا من أفضل الالكتروليتات المستخدمة فى خلايا الوقود ، وأن تجمعات الخلايا التى يستعمل فيها هذا الحمض قد استخدمت بشكل متواصل لتوليد الكهرباء لمدة عدة ساعات ، وصلت فى بعض الاحيان إلى عدة آلاف من الساعات ، الا أن مثل هذه الخلايا مازالت فى مرحلة الاختبار حتى الآن .

ومن المقدر أن الأنواع الجديدة من هذه الخلايا ستعمل لفترات طويلة من الزمن ، وقد تصل ساعات تشغيل هذه الخلايا المتطورة إلى نحو ٤٠,٠٠٠ ساعة ، أى نحو أربع سنوات ونصف السنة .

ولم تجر حتى الآن دراسات كافية على خلايا الوقود التى يستعمل فيها مصهور الكربونات .

ويستخدم فى هذه الخلايا قطبان مصنوعان من النيكل المسامى ، توضع بينهما طبقة رقيقة من الكربونات (كربونات البوتاسيوم) المنصهرة ، بعد خلطها بمادة مالئة .

ولا تعمل هذه الخلايا كما سبق أن بينا ، الا عند درجة حرارة مرتفعة تصل إلى نحو ٦٥٠° م ، ويكون معدل التفاعل عند الاقطاب المسامية مرتفعا جدا ، ولا يحتاج الأمر إلى استخدام مادة حافزة .

وعندما تعمل هذه الخلايا ، يتكون اكسيد النيكل على القطب الموجب الذى يمر عليه غاز الاكسجين ، ويصبح هو المادة الفعالة فى هذا التفاعل ، على حين يتبقى القطب السالب الذى يمر عليه غاز الهدروجين ، على حالته ، على هيئة فلز النيكل .

ومازالت هناك بعض الصعوبات التى تعترض استخدام خلايا الوقود على نطاق واسع . ومن أمثلة هذه الصعوبات عدم الوصول حتى الآن إلى الكتروليت ثابت يمكن استعماله فترات طويلة ، فاغلب الالكتروليتات المستخدمة الآن يحدث فى تركيبها بعض التغيير أثناء عمل الخلايا ، كما أن جزءا من هذه الالكتروليتات يفقد أثناء تشغيل هذه الوحدات .

وتؤدى مثل هذه الصعوبات إلى تقليل عمر خلايا الوقود ، وتحد قليلا من فائدتها ، ولكن أغلب هذه الصعوبات تكنولوجية يمكن التغلب عليها بمزيد من الدراسة والبحث ، ولابد أن يتمكن العلماء من ايجاد حلول مناسبة لها فى القريب العاجل ، وعندئذ ستصبح خلايا الوقود من أهم مصادر الطاقة فى القرن القادم .

استخدام المخلفات النباتية والزراعية فى إنتاج الطاقة

أدت أزمة الطاقة الأخيرة إلى ضرورة الاهتمام بكل المصادر الأخرى التى يمكن أن تعطينا قدرا إضافيا من الطاقة يمكن استخدامه فى بعض الاغراض .

ومن أمثلة هذه المصادر التى لقيت بعض الاهتمام مؤخرا ، الخشب والقمامة ، وكثير من المخلفات النباتية والزراعية والحيوانية التى يطلق عليها اسم **البيوماس** .

الخشب :

يتكون الخشب من نوعين من المركبات هما **السليولوز واللجنين** . **والسليولوز** عبارة عن مادة كربوهيدراتية تتكون من جزيئات كبيرة تتكرر فيها وحدات السكر ، وقد يصل عدد هذه الوحدات فى جزىء السليولوز إلى ٣٠٠٠ وحدة أو أكثر .

اما **اللجنين** فهو مادة معقدة التركيب تحتوى جزيئاتها على بعض حلقات البنزين وبعض مجموعات الميثوكسيل بجانب بعض السلاسل العضوية الاخرى .

ويكون اللجنين نحو ٢٥٪ من وزن الخشب ، وهو يكون نسيجا ضاما يتخلل الياف السليولوز ويربطها معا .

وإستخدام الخشب لانتاج الطاقة ليس أمرا جديدا ، فقد استخدم الخشب من آلاف السنين فى التدفئة وفى طهو الطعام ، واستخدمه الانسان الأول لاضاءة الكهوف ، ولكنه ترك مكانه بعد ذلك للفحم فى القرن التاسع عشر ، ثم ترك الفحم مكانه بعد ذلك لزيت البترول فى مطلع هذا القرن .

وقد استخدم الخشب كذلك فى كثير من الاغراض الاخرى ، فقد استخدم فى إنتاج الفحم النباتى المستعمل فى اختزال الخامات عند تحضير بعض الفلزات ،

كما إستخدم الرماد الناتج من حرقه فى تحضير بعض المحاليل القلوية ، ثم استخدم فيما بعد فى تحضير كربونات البوتاسيوم .

وقد عرف الناس فائدة تقطير الخشب بمعزل عن الهواء فى نهاية القرن السابع عشر ، وحصلوا من هذه العملية ، بجانب الفحم النباتى ، على بعض الابخرة التى تم تكثيفها بعد ذلك إلى سائل مائى عرف باسم « **السائل الحمضى** » ، وإلى سائل آخر كثيف اطلق عليه اسم « **قطران الخشب** » .

وقد قام الكيميائى الالمانى « **جلوبر** » « **Glauber** » علم ١٦٥٨ بفصل حمض الخليك من هذا السائل الحمضى ، كما قام الكيميائى البريطانى « بويل » « Boyle » عام ١٦٦١ بفصل سائل طيار من السائل الحمضى اطلق عليه اسم « **روح الخشب** »« **Spirit of Wood** » ، وهو الذى أطلق عليه « **دوماس** » « **Dumas** » بعد ذلك عام ١٨٣٤ اسم « **الكحول المثيلى** » .

وقد تمكن الكيميائيون فى النصف الثانى من القرن التاسع عشر من فصل الاسيتون من السائل الحمضى ، كما قاموا بفصل كثير من المركبات العضوية الاخرى من سائل القطران ، مثل بعض الاحماض الدهنية وغير المشبعة ، وبعض المركبات الاروماتية مثل الزايلين والكيومين والفينولات ، وهى جميعها مواد تقبل الاشتعال وتعطى قدرا من الحرارة عند إحراقها ، كما أن كثيراً منها له فوائد أخرى متعددة .

وقد كان الاستعمال الرئيسى للخشب يهدف إلى الحصول على بعض هذه المركبات الناتجه من تقطيره بمعزل عن الهواء لاستخدامها فى تحضير بعض العقاقير والاصباغ وغيرها من المواد النافعة ، واستمر ذلك لمدة طويلة ، ولكن أزمة الطاقة الأخيرة التى مرت بالعالم ، أعادت اهتمام الناس بالخشب كمصدر للطاقة .

ولايعنى استخدام الخشب فى إنتاج الطاقة أن نقوم بتقطيع الاشجار وتدمير الغابات ، ولكن يمكن الاستفادة من الثروة الخشبية للغابات واستغلالها بطريقة منظمة ، وذلك بزراعة نوع من الاشجار التى تتميز بسرعة نموها ، فى مزارع خاصة ، وفى صفوف متقاربة ، للاستفادة من مساحة الأرض على أكمل وجه ، ثم تقطع هذه الأشجار كل عدة سنوات عند اكتمال نموها ، وتترك جذورها وبراعمها سليمة لتنتج لنا أشجار جديدة تعطينا مزيدا من الخشب فى دورة اخرى وهكذا .

وتعرف مثل هذه المزارع باسم « **مزارع الطاقة** » لأنها تخصص لهذا الغرض فقط ، وتعتبر بعض أنواع **أشجار الكافور** « **Eucalyptus** » من أنسب الأشجار لهذه المزارع فهى سريعة النمو ، وتنمو إلى حجم معقول خلال خمس أو سبع سنوات .

وقد أقيمت احدى مزارع الطاقة من هذا النوع فى هاواى عام ١٩٧٩ ، وبلغت مساحتها نحو ٣٤٠ هكتارا .

وهناك عدة طرق لانتاج الطاقة من الخشب ، منها الطريقة الحرارية ، وهى تتضمن احراق الخشب بطريقة مباشرة واستخدام الحرارة الناتجة ، أو تتضمن تسخين الخشب وتقطيره بمعزل عن الهواء واستخدام ما ينتج عنه من غازات وأبخرة كمصدر للحرارة .

والقيمة الحرارية للخشب لابأس بها ، فهى تبلغ نحو ١٩,٨٠٠ كيلو جول لكل كيلو جرام من الخشب الجاف الخالى من الرطوبة ، وهى تقل إلى حد ما عن القيمة الحرارية للفحم التى تبلغ نحو ٢٨,٠٠٠ كيلو جول لكل كيلو جرام من الفحم .

ونظرا لاحتواء الخشب عادة على قدر متغير من الرطوبة ، فان القيمة الحرارية لانواع الخشب العادية تقل عن ذلك بنسب مختلفة تتوقف على كمية الرطوبة الموجودة بكل منها .

ولايمكن الاستفادة من الخشب بطريقة التحلل المائى ، ولايمكن أن نستخرج منه مواد ذات بال بهذه الطريقة ، وذلك لأن الخشب يحتوى على نسبة عالية من اللجنين الذى لايتأثر بعمليات التحلل المائى .

وهناك طريقة كيميائية أخرى لاستخدام الخشب فى إنتاج الطاقة ، وتتضمن هذه الطريقة تعريض رقائق الخشب أو نشارة الخشب إلى بعض المواد الكيميائية تحت ضغط مرتفع وفى درجة حرارة عالية ، وتعطى هذه الطريقة زيوتا تقبل الاشتعال ويمكن استعمالها وقودا سائلا .

وقد أقيم مصنع تجريبى لهذا الغرض فى مدينة ألبانى بولاية اوريجون بالولايات المتحدة واستخدمت فيه هذه الطريقة لتحويل الخشب إلى زيت قابل للاشتعال ، وتبين من هذه التجارب أن كل ٤٠٥ كيلو جرامات من رقائق الخشب تعطى برميلا واحدا من هذا الزيت ، وهى نسبة لابأس بها .

ويمكن كذلك تحويل الخشب إلى غاز بسهولة ، وذلك لانه لايحتوى إلا على قدر صغير من الرماد لايزيد على ٢٪ من وزنه ، كما أنه يحتوى على قدر ضئيل من الكبريت لايزيد على ٠,١٪ ، وبذلك لن تحتوى الغازات الناتجة منه الا على قدر ضئيل جدا من مركبات الكبريت الضارة .

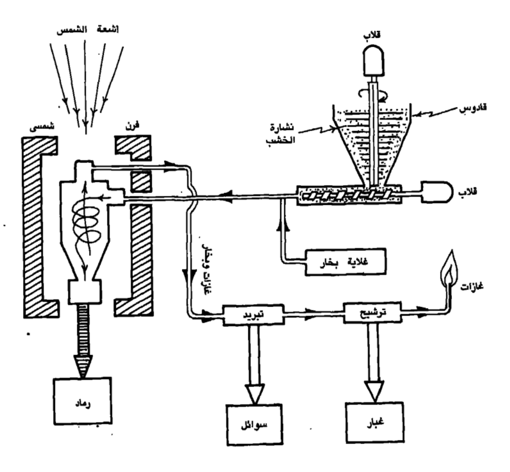
كذلك فان الخشب غير متغير التركيب ، أى أنه يتكون دائما بنسب ثابتة من كل من الكربون والهدروجين والاكسجين ، وبذلك يكون تركيب الغازات الناتجة منه ثابتا إلى حد كبير .

تحويل الخشب إلى غاز باستخدام الطاقة الشمسية

يتحول الخشب إلى غاز عند تسخينه إلى درجة حرارة عالية . ويمكن الحصول على هذه الحرارة العالية بحرق جزء من الخشب لتسخين بقيته ، ولكن هذه الطريقة تؤدى إلى فقد جزء كبير من الخشب ، وهو الجزء الذى يتم حرقه ، والذى قد يصل وزنه إلى نحو ٣٠٪ من وزن الخشب المستعمل على أقل تقدير .

وقد اجرى كثير من التجارب لاختيار افضل الطرق لتسخين الخشب إلى درجة عالية ، وكانت أفضل هذه التجارب تلك التجربة التى استخدمت فيها الطاقة الشمسية لتسخين الخشب ، وتمت هذه التجربة بنجاح فى فرنسا .

ويتكون الجهاز المستخدم فى هذه الطريقة من قادوس توضع فيه نشارة الخشب يدور فيه قلاب من نوع خاص يساعد على شحن الجهاز الذى سيتم به التفاعل بمقدار منتظم من هذه النشارة .



شكل ١٢ ـ ١ استخدام الطاقة الشمسية فى
تحويل الخشب الى غازات

ويساعد على حمل نشارة الخشب إلى إناء التفاعل تيار من بخار الماء يصدر من غلاية خاصة تعطى قدرا منتظما من البخار عند درجة حرارة ثابتة .

ويصنع أناء التفاعل على هيئة فاصل إعصارى يسخن بتركيز حرارة الشمس عليه ، وتصل فيه درجة الحرارة إلى ١٠٠٠°م .

وتمر نشارة الخشب التى يحملها بخار الماء بسرعة كبيرة فى هذا الوعاء ، فهى لاتتعرض فيه لدرجات الحرارة العالية إلا لجزء من الثانية ، ويكفى هذا الزمن الصغير لاحداث الأثر المطلوب ، فيتحول الخشب فى الحال إلى غاز يصعد إلى قمة وعاء التفاعل مصحوبا ببخار الماء ، بينما يمر الرماد وبعض المواد الصلبة الاخرى التى تتبقى من هذه العملية فى القمع الموجود باسفل هذا الوعاء .

ويمرر خليط الغاز والبخار الخارج من قمة الجهاز فى مجموعة من أجهزة التبريد تساعد على تكثيف بخار الماء وتكثيف ابخرة بعض المواد الاخرى التى تشبه القار والتى تنتج بقدر ضئيل فى هذه العملية ، ثم تمرر الغازات بعد ذلك فى مجموعة من المرشحات لتنقيتها من المواد العالقة بها .

ويوفر اسخدام الطاقة الشمسية فى هذه العملية قدرا كبيرا من الوقود ، ويحفظ لنا جزءا كبيرا من الخشب الذى كان يستعمل من قبل فى تسخين الفرن ، كما أن هذه الطريقة لايتعرض فيها مسحوق الخشب للحرارة الا لمدة قصيرة جدا فتقل بذلك نسبة المواد التى تشبه القار .

وتعطى هذه الطريقة نتائج طيبة ، فعند تعريض ٣٤٦ جراما من نشارة الخشب لحرارة الفرن الشمسى فى وقت يزيد قليلا على الساعة أمكن الحصول على ٨٠,٥٪ من الغازات و١٤,٣٪ سوائل ، ولم يتبق من المواد الصلبة الا نحو ٤٪ من الرماد و ١,٢٪ من الغبار .

وبتحليل الغازات الناتجة من هذه العملية تبين أنها تتكون من خليط من ٢٧,٩٪ هدروجين و ٤٢,٦٪ اول إكسيد الكربون ، و ١٠,٥٪ ثانى إكسيد الكربون و ١٠,٦٪ ميثان و ٦,٣٪ اثيلين و ١,١٪ اسيتيلين و ٠,٨٪ ايثان و ٠,٢٪ بروبيلين ، وجميعها غازات تقبل الاشتعال فيما عدا ثانى أكسيد الكربون .

وقد تبين من نتائج عدة تجارب من هذا النوع انه يمكن الحصول فى المتوسط على نحو ٠,٨٥ لتر من هذه الغازات من كل جرام من الخشب الجاف .

والقيمة الحرارية للغازات الناتجة بهذه الطريقة مرتفعة فهى تبلغ نحو ١٨٣٢٠ كيلو جول لكل متر مكعب منها ، وهذه القيمة أعلى من القيمة الحرارية للغازات الناتجة من تسخين الخشب بالطرق المعتادة ، والتى تبلغ فى المتوسط حوالى ٥٠٠٠ كيلو جول لكل متر مكعب .

والسبب فى ارتفاع القيمة الحرارية للغازات الناتجة بهذه الطريقة هو قلة مابها من غاز ثانى أكسيد الكربون والذى لاتزيد نسبته فيها على ١٠ ـ ١١٪ فقط ، كما أن هذه الغازات تحتوى على نسبة عالية من الهدروكربونات مثل الميثان والايثان والاثيلين والاسيتيلين والبروبيلين وهى نسبة تصل إلى نحو ١٨٪ من الغازات الناتجة .

البيوماس (الكتلة الحيوية) « Biomass »

تطلق كلمة البيوماس على المخلفات الحيوانية وكل المخلفات الزراعية التى تتبقى فى الحقول بعد جنى المحاصيل ، مثل أعواد القمح وقش الارز وبقايا الذرة وغيرها .

ويضاف إلى ذلك أيضا بعض مخلفات تصنيع الاخشاب فى المناطق التى توجد بها الغابات ، فعند تحويل الشجرة إلى كتل من الخشب يتبقى منها جزء كبير نسبيا لايمكن استغلاله ، وهو عبارة عن فروعها الصغيرة وقطع اللحاء والاوراق ، ويبلغ هذا الجزء غير المستغل نحو ٤٠٪ من وزن الشجرة فى المعتاد ، ويمكن الاستفادة منه فى إنتاج الطاقة بهذا الاسلوب .

وتتلخص هذه الطريقة فى تخمير البقايا النباتية والحيوانية فى حفر خاصة ، فيتصاعد منها غاز قابل للاشتعال يعرف باسم « **الغاز الحيوى** » « **Biogas** » وهو غاز يتكون اساسا من الميثان ، ويمكن استخدامه فى عمليات الطهو والتسخين فى المناطق الريفية .

وبالاضافة إلى فائدة هذه الطريقة فى توفير الطاقة الرخيصة فى القرى والمناطق الريفية ، فهى تمنع ايضا تلوث البيئة بهذه المخلفات وتسمح بالتخلص منها بطريقة اقتصادية ونافعة ، كما أن ما يتبقى من عمليات تخمير هذه المخلفات يمكن إستخدامه فى أغلب الاحوال كسماد طبيعى يساعد على زيادة خصوبة التربة الزراعية .

وقد استعملت هذه الطريقة لانتاج الغاز الحيوى فى كل من الصين والهند ، كما استخدمت بنجاح فى بعض القرى فى جمهورية مصر العربية .

وهناك برنامج طموح لتعميم هذه الطريقة لانتاج الغاز الحيوى فى كل قرى الريف المصرى ، وذلك بانشاء عدد كبير من هذه الوحدات حتى عام ٢٠٠٠ ، ومن المقدر أن الغازات المتولدة من هذه الوحدات ستوفر قدرا كبيرا من المال اللازم لاستيراد اسطوانات البوتاجاز المستعملة حاليا فى قرى الريف المصرى ، بالاضافة إلى أن ما سيتبقى من مخلفات من هذه العمليات سيستعمل سمادا لزيادة خصوبة

التربة الزراعية مما سيوفر كذلك تكاليف استخدام المخصبات الزراعية المخلقة كيميائيا .

وهناك طريقة أخرى للاستفادة من بعض المخلفات الزراعية التى توجد بها نسبة عالية من الزيوت ، فيمكن تحويل بعض هذه المحاصيل أو مخلفاتها بطريقة مباشرة إلى نوع من الزيت يشبه زيت الديزل يمكن استخدامه مباشرة فى محركات الاحتراق الداخلى بكفاءة عالية دون الحاجة إلى إحداث أى تغيير أو تعديل فى هذه المحركات.

وقد استخدم نوع من هذا الوقود فى سباق للسيارات اقيم فى الولايات المتحدة عام ١٩٨٢ ، وقام بعض طلاب جامعة ميتشجان باستخدام خليط من زيت الصويا وزيت الخروع مع قليل من الكحول فى إدارة محركات سياراتهم لمسافة ٢٤٠ كيلو مترا .

وقد لفتت هذه الواقعة الانظار ، واعتبرت مؤشرا عمليا لامكانية استخدام بعض الزيوت النباتية كمصدر للطاقة فى محركات الاحتراق الداخلى وفى محركات السيارات ، وهناك كثير من الدراسات والبحوث التى تجرى حاليا لتطوير هذا النوع من الوقود واستخدامه على أسس اقتصادية .

كذلك يمكن تحويل بعض الاعشاب البحرية إلى غازات وسوائل تصلح للاستخدام كوقود . ويصلح لهذا الغرض بعض الطحالب البنية التى تنمو بجوار الشواطىء ، فهى تنمو بمعدل كبير يصل فى بعض الأحيان إلى ١٠٠سم فى اليوم الواحد ، ويمكن بذلك استخدامها بطريقة اقتصادية .

وهناك ايضا دراسات تجرى على بعض الطحالب الغنية بالزيوت مثل تلك الطحالب التى تنمو فى بعض الاحيان على سطح البرك والمستنقعات ، وهناك محاولات لزراعة هذه الطحالب فى مزارع خاصة واستخراج مابها من زيوت يمكن إستخدامها فى تصنيع انواع من الوقود .

الجازوهول : « Gasohol »

يمكن الاستفادة من النباتات الزراعية بطريقة تختلف كثيرا عن الطرق السابقة ، فيمكن تخمير بعض المواد النشوية أو المواد السكرية الموجودة بهذه النباتات أو المخلفات بطريقة خاصة تحولها إلى كحول إثيلى وهو الكحول المعتاد .

كذلك يمكن معالجة مثل هذه المخلفات النباتية بطريقة أخرى بحيث تعطى خليطا من غازى الهدروجين واول اكسيد الكربون ، ويمكن تحويل هذا الخليط بعد ذلك إلى كحول آخر يعرف باسم الكحول المثيلى .

وقد نشأت فكرة استخدام الكحول كوقود فى محركات السيارات فى أثناء ازمة الطاقة التى بدأت عام ١٩٧٣ ، وكانت البرازيل سباقة فى هذا المضمار فقد بدأت عام ١٩٧٥ فى استعمال خليط من الجازولين ومن الكحول الاثيلى الخالص كوقود لادارة محركات السيارات ، وبلغت نسبة الكحول فى هذا الوقود نحو ٢٢٪

وقد أطلق على هذا الخليط اسم **الجازوهول** ، وهى كلمة مشتقة من كلمتى جازولين وكحول (GASO line / alco HOL) .

وعلى الرغم من إرتفاع سعر الكحول كثيرا على سعر الجازولين فقد يصل سعره إلى أكثر من ثلاثة أضعاف سعر الجازولين ، إلا أن له بعض الميزات الاخرى التى تؤهله للاستخدام فى محركات الاحتراق الداخلى .

واحدى هذه المميزات أن الرقم الاوكتينى للكحول أعلى من الرقم الاوكتينى للجازولين ، وهذه الخاصية تعوض النقص فى قيمته الحرارية التى لاتزيد على ثلثى القيمة الحرارية للجازولين كما يتبين من الجدول التالى .

القيمة الحرارية والرقم الاوكتينى لبعض أنواع الكحولات والجازولين

نوع الوقود	القيمة الحرارية كيلو جول/ لتر	نسبة الهواء الى الوقود (جم/ جم)	رقم الاوكتينى
الجازولين	٣٢٠٠٠	١٤,٤	٩٧ ـ ٩٩
الميثانول	١٥٨٧٠	٦,٤	١٠٦
الايثانول	٢١٣٨٥	٨,٩٥	١٠٦
الكحول البيوتيلى الثلاثى	٢٥٧٩٠	١١,١	١١٣

ونظرا لارتفاع الرقم الاوكتينى للكحول ، فهو يؤدى إلى رفع الرقم الاوكتينى للجازولين عند خلطهما معا ، وبذلك يمكن رفع نسبة انضغاط المحرك وتزداد قدرته ، ولاتصبح هناك ضرورة لاضافة بعض المواد الاخرى التى ترفع الرقم الاوكتينى للجازولين مثل رابع اثيل الرصاص وهى مواد تضر المحرك وتسبب ايضا بعض الاضرار للبيئة ومابها من كائنات .

ويتبين كذلك من الجدول السابق أن الكحولات تحتاج إلى قدر قليل من الهواء لاحتراقها احتراقا كاملا ، فالجرام الواحد من الجازولين يحتاج الى ١٤,٤ جرام من الهواء لاحراقه احراقا كاملا إلى ثانى اكسيد الكربون والماء ، على حين

يحتاج الجرام الواحد من الميثانول (الكحول المثيلى) الى ٦,٤ جرام من الهواء فقط .

ويرجع السبب فى قلة كمية الهواء اللازمة لاحراق الكحول إلى أن جزىء الكحول يحتوى فى تركيبه على بعض الاكسجين ، ويستخدم الكحول هذا الاكسجين بالاضافة إلى أكسجين الهواء فى إحراق ما بجزيئه من ذرات الكربون والهدروجين .

CH_3-CH_2OH	$CH_3-(CH_2)4.\ CH_3$
ايثانول	هكسان
(كحول)	(أحد مركبات الجازولين)
الجزىء يحتوى على اكسجين (O)	الجزىء خال من الاكسجين

ويترتب على هذه الحقيقة انه يجب إجراء بعض التعديل فى نسبة الهواء الداخلة إلى محرك السيارة عند استخدام خليط الكحول والجازولين (الجازوهول) حتى ينتظم اشتعال الوقود فى المحرك .

وهناك ملاحظة اخرى يجب أخذها فى الاعتبار عند استخدام الجازوهول فى محركات الاحتراق الداخلى ، وهى نسبة الماء الذى قد يوجد بهذا الخليط .

فمن المعروف أن الجازولين يكون عادة خاليا من الماء تماما ، ولاتزيد نسبة الماء فيه تحت اسوأ الظروف على ٨٠ جزءا فى المليون ، اما بالنسبة للكحول ، فهو عادة ما يحتوى على قدر من الماء مختلطا به ، ويصعب ازالة هذا القدر من الماء الا فى حالة الكحول المطلق أو الخالص ، وتصل نسبة الماء فى الكحول تحت أفضل الظروف إلى نحو ١٠٠٠ جزء فى المليون أو أكثر .

وعند إحتواء الكحول على مثل هذا القدر من الماء ، فانه لن يختلط تماما بالجازولين فى درجات الحرارة العادية ، بل سينفصل خليطهما إلى طبقتين ، تحتوى إحداهما على الماء وعلى أغلب الكحول ، وتحتوى الاخرى على الجازولين .

ولو ترك خليط الجازوهول على هذا الحال ، فان الوقود الذى سيصل إلى محرك السيارة لن يكون ثابت التركيب ، بل ستتغير نسبته من لحظة إلى أخرى ، فحينا ما يصله الجازولين فقط وفى حين آخر يصله الكحول والجازولين وهكذا .

وسيؤدى عدم انتظام تركيب الوقود إلى عدم إنتظام عملية الاحتراق داخل المحرك مما سيترتب عليه عدم انتظام دوران المحرك ويؤدى بالضرورة إلى ضعف قدرته .

ولما كان فصل الماء عن الكحول وتحويله إلى كحول مطلق عملية مرتفعة

التكاليف ، فقد فكر القائمون بهذه التجارب فى إضافة مذيب مشترك يستطيع الامتزاج مع كلتا الطبقتين ويصنع منهما سائلا تام الامتزاج يتكون من طبقة واحدة .

وقد استخدم لهذا الغرض **الكحول البيوتيلى الثلاثى** ، وهو يتميز بقدرته على الامتزاج مع كل من الكحول العادى والجازولين ، كما أنه تام الامتزاج بالماء ، وبذلك فهو يكون معها جميعا سائلا تام الامتزاج لاينفصل إلى طبقات .

وقد استعمل الكحول البيوتيلى الثلاثى بنسب مختلفة ، فهو يضاف بنسبة جزءين إلى ثلاثة أجزاء من الكحول عند إستخدام الكحول الميثلى وبنسبة جزئين إلى خمسة أجزاء من الكحول عند استخدام الكحول الاثيلى .

ومن الملاحظ أن القيمة الحرارية للكحول البيوتيلى الثلاثى مرتفعة إلى حد كبير ، كما أن رقمه الاوكتينى اكثر ارتفاعا من كل من الجازولين والكحولات الاخرى (انظر الجدول السابق) ، وبذلك فان اضافته للجازوهول تخدم غرضين معا ، احدهما هو التغلب على انفصال الوقود الى طبقتين ، وثانيهما رفع القيمة الحرارية والرقم الاوكتينى للجازوهول .

وقد بدأت البرازيل فى إنتاج كل من الكحول الاثيلى (الايثانول) والكحول المثيلى (الميثانول) منذ عام ١٩٧٥ ، وقد استهدفت خطه الانتاج فى ذلك الوقت أن تصل نسبه الكحولات المستخدمة فى وقود محركات السيارات إلى ٢٠٪ من الوقود الكلى المقدر استهلاكه فى هذا الغرض .

وقد تضمنت الخطة إنتاج ٢,٢ مليار لتر من الايثانول من سكر القصب ، على أساس انتاج ٦٧ لترا من الايثانول من كل طن من القصب ، واستخدمت بقايا القصب الناتجة بعد فصل العصير ، والمعروفة باسم « **الباجاس** » والتى نعرفها باسم « **مصاصة القصب** » ، فى توفير الطاقة اللازمة لعمليات التخمير والتقطير .

وقد مكنت هذه الخطة البرازيل من استهلاك قدر كبير من فائض إنتاجها من قصب السكر ، كما أنها تمكنت أيضا من توفير عدة ملايين من الدولارات كانت البرازيل تنفقها فى شراء الجازولين اللازم لادارة محركات السيارات بها .

وقد استطاعت البرازيل أن ترفع من إنتاجها للكحول بنسبة عالية ، فقامت عام ١٩٨٤ بانتاج ٩ مليارات لتر من الكحول ، استخدمتها فى صنع الجازوهول ، وتمكنت بذلك من توفير نحو ٦,٥ مليون طن من البترول تمثل نحو ١٥٪ من الاستهلاك الكلى للوقود فى محركات سياراتها.

وقد سارت الولايات المتحدة على نفس المنوال ، وبدات فى إستخدام

الجازوهول عام ١٩٧٩ ، وقامت بانتاج قدر صغير من الجازولين المحتوى على نسبة صغيرة من الكحول المطلق الخالى من الماء وكانت نسبة الكحول فى هذا الخليط لاتزيد على ١٠٪ على أكثر تقدير .

وقد استخدمت الولايات المتحدة الذرة فى صنع الكحول وقامت برفع إنتاجها من الكحول عام ١٩٨٤ إلى ٢,٦ مليار لتر استخدمت جميعها فى صنع الجازوهول ، ووفر لها ذلك نحو ١,١ مليون طن من البترول .

ومن الملاحظ أن البرازيل قد قامت بتصنيع الكحول من قصب السكر بينما قامت الولايات المتحدة بانتاجه من الذرة ، وكلاهما من المواد التى يعتمد عليها غذاء الانسان .

ويرى كثير من الناس أنه يجب الحرص فى استخدام هذه المواد الغذائية وعدم التفريط فيها ، ويجب أن يقتصر استعمالها على صنع الغذاء فقط ، فغذاء الانسان أهم كثيرا من غذاء السيارات .

ويرى المتحمسون لفكره استخدام الجازوهول ، أن إنتاج الكحول فى كل من البرازيل والولايات المتحدة يعتمد على وجود فائض كبير فى هذه النباتات ، فالبرازيل تستخدم فائض محصول قصب السكر بها وتستخدم الولايات المتحدة ما يفيض عن حاجتها من محصول الذرة .

ويقدر البعض أن الولايات المتحدة تستطيع أن تنتج نحو ١٦ مليارا من اللترات من الكحول من بقايا الذرة ومن فائض محصولها دون أن يؤثر ذلك على استخدام الذرة فى صنع الغذاء .

ويرى البعض الآخر أنه يمكن استخدام مزارع خاصة للطاقة تزرع بها بعض المحاصيل أو الاشجار سريعة النماء التى يمكن استخدامها فى هذا الغرض ، ويمكن إقامة مثل هذه المزارع فى البلاد التى تمتلك مساحات شاسعة من الاراضى الصالحة للزراعة كما فى حالة البرازيل .

ونظرا لأن الكحول المثيلى (الميثانول) يمكن تحضيره من غاز الماء وهو خليط من الهيدروجين وأول أكسيد الكربون ينتج من تفاعل بخار الماء مع الفحم الساخن ، فانه يفضل استعماله فى صنع الجازوهول لأن ذلك يبتعد بنا عن استخدام المواد النشوية أو السكرية المستخدمة فى صنع الغذاء .

ويمكن أيضا إنتاج الميثانول من مزارع الطاقة ، فيمكن مثلا لدولة مثل البرازيل أن تنتج ما تحتاجه من ميثانول ، وهو يقدر بنحو ٤٥ مليون طن ، من نحو

٥ ملايين هكتار من الارض المزروعة باشجار الحور أو أشجار الكافور .

وقد تبدو هذه المساحة هائلة لأول وهلة ، ولكنها بالنسبه لدولة مثل البرازيل لاتمثل الا نحو ٠,٦٤٪ من مساحتها الكلية .

ويمكن تطبيق هذه الطريقة فى أغلب البلاد الاخرى التى تمتلك أرضا واسعة يمكن زراعتها ، وجوا دافئا رطبا يصلح لنمو الغابات .

وحتى البلاد الشمالية الباردة ، مثل كندا والسويد ، فهى تفكر هى الأخرى فى استخدام جزء من غاباتها المتسعة فى إنتاج الكحول لاستخدامه بعد ذلك فى تصنيع الجازوهول .

أما بالنسبة للبلاد الاوروبية ، فقد فكرت فرنسا فى استخدام الكحول فى محركات السيارات منذ أكثر من ثلاثين عاما ، أى منذ عام ١٩٥٠ على وجه التحديد . وتحتاج فرنسا اليوم إلى إنتاج نحو ٢ مليون طن من الكحول لتصنيع الجازوهول اللازم لسياراتها والمحتوى على ١٥٪ من الكحول .

وتفكر أيضا بعض الدول الأوروبية التى تملك مناجم كبيرة للفحم فى أراضيها ، مثل بريطانيا والمانيا ، فى تحويل جزء من هذا الفحم إلى غاز الماء واستخدامه بعد ذلك فى صنع الميثانول ، ومنه تصنع الجازوهول اللازم لادارة محركات سياراتها مما يوفر لها قدرا كبيرا من وقود الجازولين ، كما أنه يسمح بمساهمة الفحم ولو جزئيا فى حل مشكلة الطاقة فى قطاع النقل والمواصلات .

ويمكن كذلك للدول المنتجة للبترول ، مثل دول منظمة الاوبك ، أن تحول جزءا من الغازات المصاحبة للبترول ، والتى تقوم بحرقها فى الهواء ، إلى كحول الميثانول وذلك باكسدة الغاز الطبيعى الناتج والذى يتكون اساسا من غاز الميثان ، إلى كحول الميثانول تحت بعض الظروف الخاصة .

وقد قدرت كميات الغاز التى يتم التخلص منها بحرقها فى المملكة السعودية وحدها ، بانها تكفى للوفاء باحتياجات دولة كبرى مثل فرنسا .

وقد أبدت شركات تصنيع السيارات اهتماما كبيرا بهذا النوع المستحدث من الوقود ، فقام بعض منها بتصميم محركات جديدة يمكن إدارتها بالجازوهول أو باستخدام الكحول الخالص وحدة .

وقد قامت شركة « أوبل » ، وكذلك شركة « بورش » بصنع نماذج لهذه المحركات منذ عام ١٩٧٤ ، كما قامت بعض الشركات الأخرى ، مثل شركات « فورد » و « جنرال موتورز » و « الفاروميو » بمحاولات مماثلة منذ عهد قريب .

ويجب أن نعلم أن تشغيل محرك السيارة بالكحول المطلق وحده يحتاج إلى قدر كبير من الكحول وإلى قدر آخر أكبر من سكر القصب ، ويتضح ذلك من بعض الدراسات التى أجريت فى هذا الشأن فى البرازيل ، وتبين منها أن سيارة متوسطة الحجم مثل سيارة « فولكسفاجن باسات » تحتاج إلى ١٩٠٠ لتر من الكحول المطلق كل ١٥٠٠٠ كيلو متر ، ويحتاج إنتاج هذا القدر من الكحول إلى نحو ٢٢ طنا من سكر القصب .

وتختلف نسبة الكحول المضافة إلى الجازولين من بلد لاخر ، وقد تختلف هذه النسبة من ولاية إلى أخرى داخل نفس البلد كما فى الولايات المتحدة ، فتبلغ نسبة الكحول فى الجازوهول نحو ٣٣٪ فى بعض الولايات التى تزرع الذرة ، وقد تصل إلى صفر ٪ فى بعض الولايات الاخرى التى لاتزرع الذرة .

وبصفة عامة ، فان جملة المواد الاكسجينية المضافة إلى الجازولين ، مثل الميثانول والايثانول والكحول البيوتيلى الثلاثى لم تكن تزيد على ٠,٨٪ من وقود الجازولين الكلى المستخدم فى الولايات المتحدة حتى عام ١٩٨٤ ، ثم ارتفعت هذه النسبة مؤخرا وبلغت نحو ٥,٤٪ فى نهاية عام ١٩٨٥ ، وهى تبين أن هناك تصاعدا فى استخدام الجازوهول فى الولايات المتحدة فى السنوات الاخيرة .

ويكاد يكون هناك شبه اتفاق فى كثير من الدول الاوروبية على الا تزيد نسبة هذه الكحولات فى الجازوهول على ١٥٪ كما فى المانيا وفى السويد .

وهناك دراسات أخرى متعددة تتعلق باستخدام النباتات فى إنتاج الطاقة ، وتتضمن إحدى هذه الدراسات استخدام بعض انواع النباتات التى تدر عصارة تشبه اللبن فى قوامها .

وهذه النباتات من نوع « **الفربيون** » ومن عائلة شجر « **المطاط** » وهى تعطى عصارة بيضاء عبارة عن مستحلب مائى يحتوى على ٣٠ ـ ٤٠٪ من المركبات الهدروكربونية التى تشبه هدروكربونات النفط الخام فى كثير من صفاتها .

وتختلف عصارة هذه النباتات عن عصارة شجرة المطاط فلو أننا فصلنا الماء عصارة شجرة المطاط لتبقت لنا كتلة من المطاط المرن ، أما إذا فصلنا الماء عن عصارة هذه الشجرة فانه يتبقى لنا زيت يمكن تحويله إلى وقود أو زيوت تشحيم .

وجزيئات الهدروكربونات المكونة لعصارة هذه الأشجار أصغر بكثير من جزيئات الهدروكربونات المكونة لعصارة شجر المطاط ، فوزنها الجزيئى لايزيد على عشرين الفا بينما يبلغ الوزن الجزيئى لهدروكربونات المطاط نحو خمسمائة الف ، وهذه ميزة كبيرة لأنها تجعل تكريرها أكثر سهولة .

ومن المقدر أن هكتارا واحدا من مثل هذه الأشجار يمكن أن يعطى ما يعادل ٥٠ برميلا من سائل يشبه النفط الخام فى العام .

ويرى البعض أن مثل هذه الاشجار قد تصبح يوما ما مصدرا هاما للطاقة وقد يمكن تسميتها « **باشجار الجازولين** » ، وأن كانت لن تستطيع أن تحل مشكلة الوقود وحدها .

إنتاج الغاز من القمامة والنفايات

تقوم بعض المدن باستخدام القمامة والنفايات الناتجة من سكانها فى إنتاج الطاقة .

وأبسط الطرق المستخدمة فى ذلك هو حرق هذه النفايات والاستفادة من الحرارة الناتجة فى إنتاج البخار الذى يمكن استعماله بعد ذلك فى عمليات التدفئة والتسخين أو فى توليد الكهرباء .

والقيمة الحرارية للقمامة لابأس بها ، خاصة تلك القمامة التى تتكون من الاوراق الجافة وقطع القماش وغيرها ، فهى تعطى ٢٠٠٠٠ كيلو جول لكل كيلو جرام ، وهى تقترب كثيرا من القيمة الحرارية للفحم التى تبلغ ٢٨٠٠٠ كيلو جول لكل كيلو جرام على حين تزيد القيمة الحرارية على ذلك بالنسبة للقمامة التى تتكون من بقايا الطعام واللحوم .

وعلى الرغم من أن طريقة حرق النفايات تنتج قدرا وافرا من الطاقة ، كما أنها تخفض كثيرا من حجم النفايات التى يجب التخلص منها ، الا أن هذه الطريقة تعترضها بعض الصعوبات أهمها تلوث الهواء بالغازات الناتجة من الاحتراق وتصاعد قدر كبير من الغبار مع هذه الغازات ، ولذلك يجب أن تتضمن طرق حرق القمامة وجود تجهيزات خاصة لغسل الدخان الناتج بالماء أو وجود وسائل كهروستاتيكية لازالة الغبار من الغازات الناتجة

وقد لوحظ أن أكوام القمامة المتراكمة بعضها فوق بعض يحدث بها بعض التخمر . وتبين فيما بعد أن هذا التخمر يحدث بواسطة بعض أنواع البكتريا التى لاتستعمل الاكسجين ، ويؤدى ذلك الى تحلل ما بالقمامة من مواد عضوية ويتحول اغلبها إلى غاز الميثان الذى يملأ الجو المحيط باكوام القمامة ، وهو المسئول عن تلك الرائحة الغريبة التى تسبب الغثيان التى تخيم على مستودعات القمامة ، وهو أيضا المسئول عن بعض الانفجارات التى تحدث فى بعض هذه المستودعات وما يصحبها من إشتعال للنيران .

وقد قامت بعض الشركات فى الولايات المتحدة وغيرها باستغلال هذا التفاعل الذى يحدث طبيعيا فى مستودعات القمامة وقامت باستخلاص غاز الميثان الناتج ، ثم قامت بتسويقه إلى غيرها من الشركات .

ولايكون غاز الميثان الناتج من هذا التخمر فى حالة نقية بل يصحبه عادة غاز آخر هو ثانى أكسيد الكربون . ونظرا لأن غاز ثانى أكسيد الكربون لايشتعل ولايساعد على الاشتعال ، فان وجوده مختلطا بالميثان يقلل كثيرا من القيمة الحرارية لهذا الأخير ، ولذلك فانه يجب فصل غاز ثانى أكسيد الكربون قبل تسويق الميثان .

وتعتبر عملية فصل ثانى أكسيد الكربون عن غاز الميثان عملية شاقة ، وعند أستعمال المواد الكيميائية فى هذا الفصل تصبح هذه العملية باهظة التكاليف .

وقد ابتكرت مؤخرا أغشية رقيقة من أنواع خاصة من البلاستيك تسمح لغاز ثانى أكسيد الكربون بالنفاذ على حين تقوم بحجز الميثان ، وقد نجحت هذه الطريقة بصورة جيدة فى فصل هذين الغازين أحدهما عن الآخر ، ولكن يشترط لنجاحها أن تكون درجة حرارة خليط الغازين ثابتة عند حد معين على الدوام .

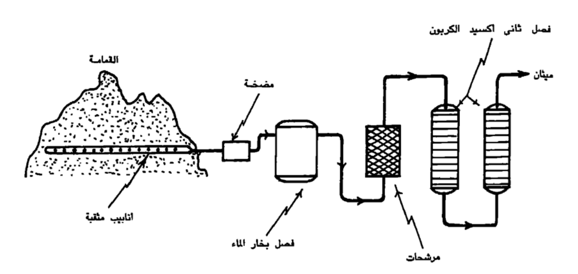
والغاز الناتج من عملية الفصل لايكون عالى النقاوة ولكنه يكون نقيا بدرجة كافية ، فهو يعطى نحو ٤١ وحدة حرارية لكل لتر ، وهى قيمة تقترب كثيرا من القيمة الحرارية للغاز الطبيعى الذى نحصل عليه من الآبار الطبيعية وهى تبلغ نحو ٤٣ وحدة حرارية لكل لتر .

وقد أقيمت وحدة لفصل غاز الميثان من القمامة بولاية أوريجون بالولايات المتحدة ، واستخدم الغاز الناتج فى تدفئة نحو ٣٧٠٠ منزل ، كما قامت شركة أخرى بانشاء مصنع آخر كبير على جزيرة ستاتين بمدينة نيويورك لنفس الغرض ، وتبلغ طاقته نحو ١٤٠ الفا من الامتار المكعبة من غاز الميثان يوميا .

وتتضمن عملية إنتاج الغاز حفر خنادق أو آبار فى مستودع النفايات ، توضع بها أنابيب مثقبة يدخل منها الغاز . وتقوم المضخات بسحب الغاز من هذه الانابيب ، ويفصل منه بخار الماء أولا ، ثم يدفع إلى مرشحات تحتوى على بعض الكربون المنشط لازالة ما يكون به من أبخرة اخرى غير مرغوب فيها ، ثم يدفع الغاز بعد ذلك إلى مجموعة من الاسطوانات المحتوية على أغشية رقيقة من بوليمر الاسيتات .

وعادة ما يحتوى غاز الميثان على نسبة عالية من غاز ثانى أكسيد الكربون قد تصل إلى نحو ٤٥٪ من حجمة الكلى . وتقل نسبة هذا الغاز كثيرا بعد مرور الميثان

فى اغشية البولى اسيتات عدة مرات ، وقد لاتزيد نسبة ثانى اكسيد الكربون فى نهاية هذه العملية على ٥ ـ ٨٪ من الحجم الكلى للغاز ، الذى يصبح صالحا بعد ذلك للاستعمال تجاريا .



شكل ١٣ ـ ١ استخلاص غاز الميثان من القمامة

ولاتصلح لهذا الغرض إلا النفايات أو القمامة التى تحتوى على مواد عضوية يسهل تخمرها بواسطة البكتريا ، مثل الورق والخشب والقماش .

ويجب أن تخلو مثل هذه النفايات من المواد المشعة أو المواد الكيميائية الضارة مما قد يلوث غاز الميثان الناتج ويصل هذا التلوث مع الغاز إلى المنازل والمتاجر خلال شبكة التوزيع .

وتمثل مخلفات الصرف الصحى ، وهى نوع من النفايات العضوية ، مصدرا آخر لغاز الميثان ، وهناك تجارب كثيرة ودراسات تجرى فى هذا المضمار للحصول على غاز الميثان بطريقة اقتصادية .

وقد استعمل غاز الميثان لادارة محركات مجموعة من السيارات فى كاليفورنيا بالولايات المتحدة لمدة عامين ، ويعتبر هذا الغاز أقل تكلفة من الجازولين كما أنه أقل منه ضررا بالمحرك ، وقد يصبح هذا الغاز هو الوقود الوحيد المستعمل فى آلات الاحتراق الداخلى فى المستقبل عندما تتحسن النواحى الاقتصادية المتعلقة بانتاجه .

تخزين الطاقة

نظرا لاحتمالات نضوب المصادر الطبيعية للطاقة ، مثل الغاز الطبيعى وزيت البترول فى خلال الاعوام القليلة القادمة ، فقد انطلقت اليوم صيحة فى كل أرجاء العالم تطالب بترشيد استهلاك الطاقة بكل أنواعها حفاظا على ما تبقى من هذه المصادر الطبيعية غير المتجددة .

وقد تبنى هذا الاتجاه كثير من الدول الصناعية المتقدمة وهى الدول التى تستهلك قدرا كبيرا من الطاقة فى صناعاتها ، وفى مختلف مناحى حياتها المعتادة .

وقد بلغ هذا المطلب مبلغ التحدى بالنسبة لكثير من الدول الغربية فى أعقاب الحظر على البترول العربى بعد حرب الشرق الأوسط عام ١٩٧٣ ، حتى أن رئيس جمهورية الولايات المتحدة ، جيمى كارتر ، قام بتوجيه نداء إلى الشعب الامريكى فى ذلك الحين يطلب فيه الا يزيد ما تستورده الولايات المتحدة من البترول ، فى أى يوم من الايام ، على ما كانت تستورده عام ١٩٧٧ ، وهو لايزيد على ٨,٥ مليون برميل فى اليوم من جملة ما تستهلكه يوميا ، وقدره نحو ثمانية عشر مليونا من البراميل .

كذلك تضمن هذا النداء ضرورة العمل على تخفيض استهلاك البترول فى الولايات المتحدة بنسبة ٥٠٪ عام ١٩٩٠ .

وقد قام كثير من الدول الغربية بتخصيص مبالغ كبيرة للصرف منها على البحوث الخاصة بايجاد مصادر جديدة للطاقة ، كما وجهت جزءا من هذه البحوث لايجاد افضل الطرق لترشيد استخدام الطاقة المتاحة لديهم .

وتعتبر طرق تخزين الطاقة من أهم طرق ترشيد استغلال الطاقة ، وهذه الطرق لاتؤدى إلى تقليل الاعتماد على الطاقة ، ولكنها تخزن الطاقة الزائدة فى وقت من الاوقات ، لاستعمالها فى وقت لاحق عندما تشتد الحاجة اليها ، وبذلك تؤدى إلى خفض استهلاك الطاقة بشكل عام .

وقد نجحت طرق تخزين الطاقة بشكل خاص فى قطاع الكهرباء وهو القطاع الذى يزداد فيه الاستهلاك يوما بعد يوم .

وتعمل محطات توليد الكهرباء الضخمة فى المعتاد بنظام ثلاثى المراحل ، فهناك وحدات أساسية لتوليد الكهرباء تعمل طوال العام تقريبا ، وتقوم هذه الوحدات بمقابلة الاحمال الاساسية المطلوبة من الطاقة الكهربائية فى الاوقات العادية وفى غير أوقات الذروة ، على حين نجد أن هناك وحدات أخرى تعمل بصفة خاصة لمقابلة الاحمال الكهربائية الزائدة فى أوقات الذروة ، وهى أحمال تمثل نحو ٣٠ ـ ٤٠٪ من الاحمال الاساسية .

ولاتعمل هذه الوحدات إلا جزءا من الوقت فقط عند الحاجة اليها ، وقد لاتعمل الا عددا محدودا من الساعات لايزيد على ٤٠٠٠ ساعة فى العام .

وهناك نوع ثالث من الوحدات يعمل عند الطوارىء فقط لمقابلة بعض الاحتياجات غير المعتادة من الكهرباء ، ولاتعمل هذه الوحدات فى المتوسط الا عددا قليلا من الساعات قد لاتزيد على عدة مئات من الساعات فى العام .

وهذا النظام ثلاثى المستوى لتوليد الكهرباء ، نظام غير اقتصادى ؛ لانه يستهلك قدرا كبيرا من الوقود مثل الفحم أو البترول أو الغاز الطبيعى ، ولذلك فقد اتجه الفكر إلى استخدام الوحدات الاساسية فقط لتوليد الكهرباء اللازمة ، بحيث يمكنها مقابلة الاحتياجات الاساسية المطلوبة من الطاقة الكهربائية ، ويمكنها كذلك أن تغطى الاحتياجات المطلوبة منها فى أوقات الذروة .

وقد نجحت التجارب التى اجريت فى هذا الشأن ، وتم استنباط طرق جديدة لتخزين الطاقة الزائدة وإعادة استخدامها عند الحاجة اليها .

وتتلخص هذه الوسائل الجديدة فى تخزين الطاقة الكهربائية التى تولدها الوحدات الاساسية عند إنخفاض استهلاك الكهرباء ، أى فى أثناء الليل كل يوم ، وفى نهايات الاسبوع أو فى الاجازات ، ليعاد اطلاق هذه الطاقة بعد ذلك عند الاحتياج اليها فى أوقات الذروة .

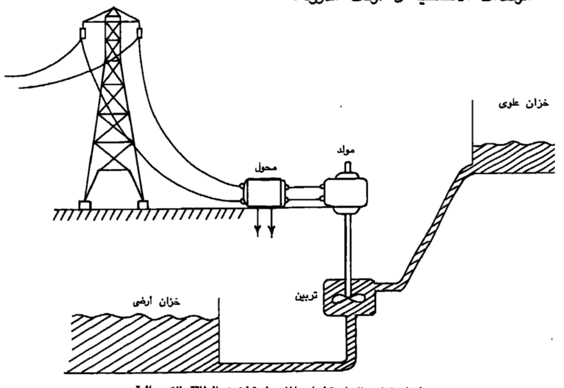
شكل ١٤ ـ ١ احدى طرق تخزين الطاقة

وقد ابتكرت عدة طرق لتخزين الطاقة الكهربائية أثناء الاحمال المنخفضة واستعمل الماء فى بعض هذه الطرق كما استعمل الهواء وبعض أنواع البطاريات فى بعض الطرق الاخرى .

استخدام الماء فى تخزين الطاقة الكهربائية

يستخدم الماء فى هذه الطريقة فى تخزين الطاقة الكهربائية الزائدة ، وهى تعرف باسم « **طريقة الضخ الكهرومائية للتخزين** » « pumped- hydroelec- tric storage» .

وتتلخص هذه الطريقة فى استعمال الطاقة الكهربائية الناتجة من الوحدات الاساسية لتوليد الكهرباء ، فى أثناء انخفاض الاحمال ، فى ضخ الماءإلى خزان مرتفع المستوى ، ثم يترك الماء لينساب إلى المنسوب الاصلى مارا فى طريقه بتربينات توليد الكهرباء ، عند الحاجة إلى تعزيز الطاقة الكهربائية الناتجة من الوحدات الاساسية فى أوقات الذروة .



شكل ١٤ ـ ٢ استخدام الماء فى تخزين الطاقة الكهربائية

وقد أقيمت إحدى هذه الوحدات فى الولايات المتحدة على الشواطىء الشرقية لبحيرة متشجان ، ويرفع الماء فى هذه الوحدة من البحيرة الطبيعية إلى البحيرة

الصناعية التى تم حفرها على الشاطىء المرتفع ، وهى تعلو على منسوب المياه فى البحيرة الطبيعية بنحو ثمانين مترا .

ويتم رفع المياه بمجموعة من المضخات القوية التى تعمل بالتيار الكهربائى الفائض عن الحاجة فى غير أوقات الذروة ، أى فى أثناء الليل أو فى فترات نهاية الأسبوع .

وعند ترك الماء ليعود من البحيرة الصناعية إلى البحيرة الطبيعية يندفع بشدة ويدير فى طريقه مجموعة من التربينات تولد طاقة كهربائية ضخمة تصل إلى نحو ٢٠٠٠ ميجاوات ، وهى تعادل الطاقة الكهربائية الناتجة من محطتين حراريتين كبيرتين .

وتستعمل هذه الطاقة الكهربائية الكبيرة لمقابلة الاحمال الزائدة المطلوبة فى أوقات الذروة . وعند تصفية كل ما بالبحيرة الصناعية من مياه ، يمكن توليد نحو ١٥ مليون كيلو وات ساعة .

وقد تبين من هذه التجربة العملية التى تمت على نطاق واسع انه يمكن إستعادة نحو ثلثى الطاقة المستخدمة فى ملء البحيرة الصناعية .

وحتى الآن لاتزيد الطاقة الناتجة من مختلف عمليات تخزين الطاقة فى الولايات المتحدة ، على ٢٪ من مجموع الطاقة الكهربائية المنتجة بها ، الا أنه يقدر أن تزداد هذه النسبة بعد تعميم وسائل تخزين الطاقة فى كل مكان ، وأن يحقق ذلك وفرا فى الطاقة فى الولايات المتحدة يصل إلى ما يكافىء نحو ثلاثة ملايين برميل من البترول فى اليوم عند نهاية هذا القرن ، وقد يزيد الوفر على ذلك كثيرا بتقدم طرق تخزين الطاقة وزيادة كفاءتها .

ويعترض بعض المهتمين بشئون البيئة على إقامة مثل هذه البحيرات الصناعية ، لكبر حجمها ، ولاثرها الضار على البيئة المحيطة بها وإفسادها للتوازن الطبيعى القائم بين مختلف عناصر هذه البيئة ، ولذلك فقد اتجه الرأى إلى استخدام بعض التجاويف أو الفراغات التى تقع فى باطن الارض .

وتقوم هذه التجاويف الارضية مقام الخزان السفلى ، بينما يكون الخزان العلوى على سطح الارض على هيئة نهر أو بحيرة طبيعية ، وبذلك لاتشغل عملية تخزين الطاقة الا مساحة ضئيلة جدا تستخدم فقط فى إقامة المولدات والمحولات .

ويمكن فى هذه الحالة إنتاج قدر كبير من الطاقة الكهربائية تبعا لعمق الخزان الارضى وسعته .

استخدام الهواء فى تخزين الطاقة الكهربائية

هناك طريقة أخرى لتخزين الطاقة شديدة الشبه بالطريقة السابقة ، إلا أنها تستخدم الهواء بدلا من الماء .

وتعتبر هذه الطريقة اكثر صلاحية من طريقة ضخ الماء ، وذلك لانه يمكن تخزين الهواء المضغوط فى باطن الارض سواء فى الفراغات الصخرية أو فى الفراغات الملحية الموجودة بباطن الارض دون أن نخشى ذوبان الملح .

كذلك لا يحتاج الأمر عند استخدام الهواء ، إلى وجود خزان فوق سطح الأرض كما فى حالة استعمال الماء ، بل يطلق الهواء الصاعد من الارض إلى الجو مباشرة بعد أن يمر فى التربينات .

وأحد عيوب استخدام الهواء فى تخزين الطاقة ، إن الهواء يسخن عند ضغطه بشكل واضح ، ولذلك يجب تبريده قبل تخزينه فى باطن الأرض ، حتى نتجنب إحتمالات حدوث بعض التشققات فى جدران الخزانات الارضية .

كذلك يحتاج الأمر إلى تسخين الهواء المضغوط قبل إمراره فى التربينات مما يحتاج إلى استعمال قدر صغير من الوقود فى عملية التسخين .

وقد أقيمت إحدى هذه الوحدات التى تستعمل الهواء المضغوط فى تخزين الطاقة فى « هنتورف » « Huntorf » بجوار مدينة « بريمن » فى المانيا الغربية ونجحت فى عملها نجاحا تاما .

وقد استعمل فى هذه الوحدة التيار الكهربائى الفائض عن الحاجة من محطات توليد الكهرباء المجاورة لها ، وهو التيار المنتج فى غير أوقات الذروة ، استخدم هذا التيار فى ضغط الهواء إلى نحو ١٠٠٠ رطل على البوصة المربعة .

ويتم تخزين هذا الهواء المضغوط فى مكمنين ملحيين فى باطن الأرض ، تبلغ سعتهما معا نحو ٣٠٠,٠٠٠ من الامتار المكعبة .

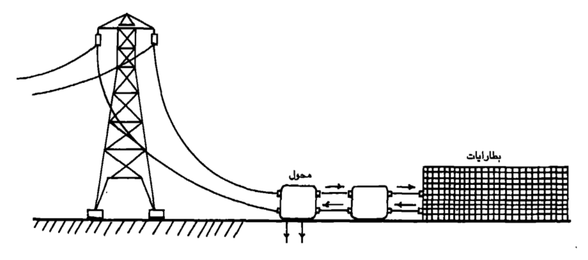
وتقوم هذه الوحدة باطلاق هذا الهواء المضغوط فى أوقات الذروة ، لتدير به التربينات التى تولد الكهرباء ، بعد تسخينه بقدر قليل من الغاز الطبيعى ، وتبلغ الطاقة الكهربائية المولدة بهذه الطريقة نحو ٢٩٠,٠٠٠ كيلو وات لمدة ساعتين .

وتجرى حاليا بعض البحوث لتحسين اداء مثل هذه الوحدات التى تستخدم الهواء المضغوط ، وتجرى حاليا دراسات لتسخين الهواء قبل امراره فى التربينات ببعض انواع الوقود الصناعية المحضرة من الفحم .

وهناك اقتراحات باستخدام احواض خاصة مليئة بكرات صغيرة من الخزف أو الحديد ، ويمرر فيها الهواء المضغوط قبل تخزينه فى باطن الارض ، فتمتص هذه الكرات حرارة الهواء وتحتفظ بها فيما بينها ، وعندما يمر بها الهواء البارد الصاعد من باطن الارض ، يمتص منها هذه الحرارة فيسخن ويتمدد قبل إمراره فى التربينات .

تخزين الكهرباء بواسطة البطاريات

استخدمت البطاريات فى عمليات تخزين الطاقة الكهربائية منذ زمن بعيد ، ولكن ذلك يستلزم تحويل تيار الشبكة الكهربائية ، فى غير أوقات الذروة ، من تيار متردد عالى الجهد ، إلى تيار مستمر ذى جهد منخفض ، ثم تعكس هذه العملية ، فى أوقات الذروة ، بتحويل التيار المستمر الناتج من البطاريات إلى تيار متردد يتم إدخاله بعد ذلك الى الشبكة الكهربائية العامة .



شكل ١٤ ـ ٣ تخزين الطاقة الكهربائية بالبطاريات

وتعتبر هذه الطريقة من أفضل طرق تخزين الطاقة الكهربائية ، وذلك لان الداخل فيها والخارج منها تيار كهربائى ، ولهذا السبب فان هذه الطريقة تستجيب سريعا لأى تغير فى الاحمال .

ويتميز نظام تخزين الطاقة بالبطاريات ، بأنه نظام اقتصادى ، فيمكن إقامة هذا النظام فى أى مكان ، فهو لايحتاج إلى بحيرات صناعية ولا إلى مكامن تحت الارض ، كما يمكن تجميع عدد كبير من البطاريات صغيرة الحجم معا .

ومن المقدر أن وحدة لتخزين الطاقة الكهربائية بالبطاريات ، تبلغ قدرتها نحو ٢٠,٠٠٠ كيلو وات ، وسعتها من ١٠٠,٠٠٠ إلى ٢٠٠,٠٠٠ كيلو وات ساعة ، لن تشغل مساحة أكبر من نصف فدان .

ونظرا لما لهذه الطريقة من مميزات ، فقد اتجه كثير من البحوث نحو إيجاد أنواع جديدة من البطاريات تتصف بكفاءتها العالية ، وبرخص ثمنها وطول مدة خدمتها .

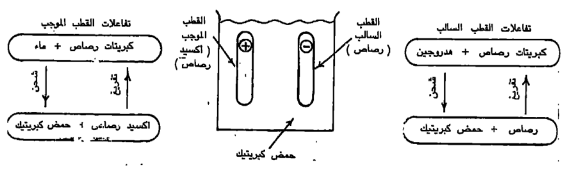
مركم الرصاص

أبسط أنواع البطاريات هى تلك البطارية التى يستعمل فيها أقطاب من فلز الرصاص ، وتعرف باسم مركم الرصاص .

وتتكون هذه البطارية من عدة ألواح متبادلة من الاقطاب ، فتصنع الاقطاب السالبة من الرصاص ، بينما تصنع الاقطاب الموجبة من الرصاص المغطى بطبقة من اكسيد الرصاص ، وتغمر هذه الاقطاب المتبادلة فى حمض كبريتيك ذو تركيز معين .

وعند إستعمال البطارية يتحول الرصاص إلى كبريتات رصاص ، وعند إعادة شحن البطارية يتحول القطب السالب مرة أخرى إلى فلز الرصاص ، ويتحول القطب الموجب إلى اكسيد رصاص .

ولاتعيش هذه البطارية طويلا ، لحدوث بعض التغيرات الطبيعية فى الواحها أثناء الاستعمال ، فتتغير خواصها البلورية ، كما تتغير مساميتها بطول الاستعمال ، ولهذا فان هذه البطاريات لاتتحمل أكثر من الفى تحول من هذه التحولات ، ما بين شحن وتفريغ . وتستعمل هذه البطاريات السائلة فى محركات السيارات .



شكل ١٤ ـ ٤ مركم الرصاص

بطارية الكبريت والصوديوم

تناولت البحوث الخاصة بتخزين الطاقة الكهربائية بالبطاريات عدة محاولات لاستنباط أنواع جديدة من البطاريات التى تتميز بقدرتها العالية على التخزين .

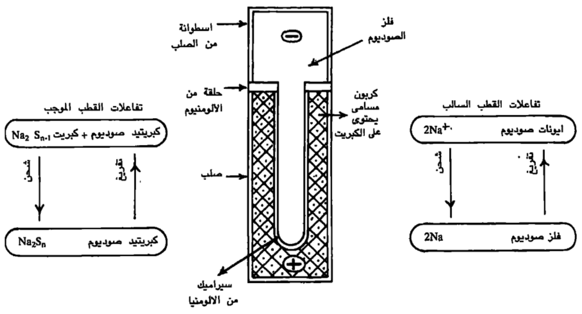
وقد توصلت هذه البحوث إلى صنع أنواع مستحدثة من البطاريات تتكون أقطابها السالبة من بعض الفلزات الاخرى ، مثل الزنك أو الصوديوم ، وتتكون أقطابها الموجبة من الكلور أو الكبريت .

وتعتبر بطارية الصوديوم والكبريت مثالاً لهذه البطاريات ، فهى قليلة التكاليف ولها قدرة عالية على التخزين .

وفى حالة مركم الرصاص ، تصنع أقطابها من مواد صلبة مثل الرصاص وأكسيد الرصاص ، ويفصلها الكتروليت سائل وهو حمض الكبريتيك ، ولذلك تعرف هذه البطاريه باسم **البطارية السائلة** .

أما فى حالة بطارية الصوديوم والكبريت ، فان الحال يكون مختلفا ، فتكون أقطابها السالبة والموجبة ، وهى الصوديوم والكبريت فى حالة سائلة ، بينما يكون الالكتروليت الفاصل بينهما مادة صلبة مصنوعة من نوع خاص من السيراميك .

ويوضع فلز الصوديوم فى هذه البطارية فى غلاف من الصلب لجمع التيار ، وهو يمثل القطب السالب ، بينما يوضع الكبريت الذى يمثل القطب الموجب فى هذه البطارية ، فى غلاف آخر من الصلب ، ويتم فصل القطب السالب عن القطب



شكل ١٤ ـ ٥ بطارية الصوديوم والكبريت

الموجب بحلقة عازلة من فلز الالومنيوم المسمى « **الفا ـ الومنيوم** » « Alpha Aluminium » ، بينما يكون الالكتروليت الواقع بينهما على هيئة انبوبة من السيراميك المصنوع من « **بيتا ـ الومنيوم** » « Beta Aluminium » ، يوجد الصوديوم بداخلها ويوجد الكبريت خارجها .

وعادة مايخلط الكبريت فى هذه البطارية بعنصر الكربون المسامى حتى يكون جيد التوصيل للكهرباء .

وتستخدم هذه البطارية عند درجات الحرارة المرتفعة التى تقع بين ٣٠٠ ـ ٣٥٠°م ، وعند هذه الدرجة يكون كل من الكبريت والصوديوم على هيئه سائل (مصهور) ، كما يكون التوصيل الايونى لمادة السيراميك المصنوعة من الالومنيا ، مماثلا لتوصيل الالكتروليت السائل فى درجات الحرارة العادية ، ولايسمح هذا السيراميك الا بمرور ايونات الصوديوم الموجبة فقط .

وقد تم تشغيل بعض بطاريات الصوديوم والكبريت اكثر من الف دورة من دورات الشحن والتفريغ دون أن تتأثر أو تفسد .

وهناك أنواع أخرى من هذه البطاريات المستحدثة ، مثل بطاريات الليثيوم ـ الحديد ، وبطاريات الحديد ـ اكسيد النيكل ـ وبطاريات الزنك ـ اكسيد النيكل ، وبطاريات الزنك ـ الكلور.

وأهم ماتتميز به هذه البطاريات قدرتها على العمل لفترة طويلة ، قد تصل إلى نحو ٣٠٠٠ دورة من دورات الشحن والتفريغ ، أى أنها قد تعمل لمدة تتراوح بين ١٠ ـ ١٥ سنة .

تخزين الطاقة فى قطاع النقل

تقع الزيادة فى استهلاك الطاقة فى قطاع النقل فى بعض أنواع الوقود مثل مشتقات البترول من الجازولين والسولار .
وتستهلك وسائل النقل المستخدمة اليوم من سيارات خاصة وشاحنات وطائرات وقطارات قدرا هائلا من هذه المشتقات على المستوى الدولى وتبلغ كميه هذه المشتقات التى تستهلك يوميا فى الولايات المتحدة وحدها نحو ٩ ملايين برميل ، وهى كمية ضخمة تقترب من نصف الاستهلاك اليومى للبترول فى الولايات المتحدة . وتنطبق هذه الحالة على كثير من الدول الاخرى .

ولايمكن تخزين الطاقة فى قطاع النقل بطريقة مباشرة ، ولكن يمكن تحقيق

وفر كبير فى الطاقة اذا أمكن تشغيل السيارات وغيرها من وسائل النقل بالبطاريات الكهربائية التى يتم شحنها من الطاقة الكهربائية الزائدة فى غير أوقات الذروة .

ويمكن تصور صعوبة استبدال الجازولين بالبطاريات إذا قارنا بين كمية الطاقة الناتجة من إحراق الجازولين ، وبين الطاقة الناتجة من البطارية الكهربائية .

فاذا فرضنا أن خزان الوقود فى السيارة يسع نحو ١٠٠ لتر من الجازولين ، فان هذا القدر من الوقود على هيئة الجازولين سيعطى عند إحراقه قدرا من الطاقة يساوى ثلاثة ملايين وحدة حرارية بريطانية ، وهى كمية من الطاقة تكفى لتشغيل سيارة كبيرة لمسافة تزيد على ٥٠٠ كيلو متر .

أما إذا استخدمنا بطارية كهربائية اقطابها من الرصاص ، وهى البطارية السائلة العادية (مركم الرصاص) ، ويبلغ حجمها ١٠٠ لتر ، وهو نفس حجم الجازولين المستخدم فى المثال السابق ، فان هذه البطارية لن تعطى لنا أكثر من ٦ كيلو وات ساعة ، اى نحو ٢٠,٥٠٠ وحدة حرارية بريطانية فقط ، أى جزء من ١٥٠ جزءا من الطاقة الناتجة من الجازولين .

وعلى الرغم من أن كفاءة تشغيل المحرك بالجازولين لاتزيد على ٣٠٪ بينما تبلغ كفاءة التشغيل بالبطاريات نحو ٧٥٪ من طاقتها ، إلا أن هذا لايغير كثيرا من النتيجة السابقة ، ويبدو لنا على الفور مقدار التفاوت بين قدرة الجازولين وقدرة البطارية الكهربائية .

ويوضح لنا هذا المثال ، أنه لتشغيل سيارة متوسطة الحجم مسافة مناسبة ، فانه يلزم استخدام بطاريات كهربائية أكبر من ذلك بكثير .

ويمثل كبر حجم البطارية الكهربائية عقبة رئيسية فى هذا المجال ، كما أن ارتفاع تكلفة هذه البطارية يمثل عقبه اخرى أمام صانعى السيارات ، فاستخدام بطارية كهربائية بحجم مناسب لتشغيل محرك سيارة متوسطة لمسافة خمسين كيلو مترا يرفع تكلفة هذه السيارة بنحو الف دولار .

وهناك عقبة أخرى يجب تخطيها قبل استخدام البطاريات الكهربائية فى تشغيل وسائل النقل ، وهى مدى التشغيل القصير للبطارية قبل أن تفرغ شحنتها ، ويمكن التغلب على هذه الصعوبة بانشاء محطات شحن على مسافات متقاربة فى الطرق العامة ، أو محطات أخرى يتم فيها استبدال البطارية الفارغة باخرى مشحونة ، إلى غير ذلك من الافكار .

وبالرغم من كل هذه الصعوبات ، فما زال هناك كثير من البحوث التى تجرى فى هذا المجال لاحلال البطارية الكهربائية محل آلة الاحتراق الداخلى فى السيارات ، خاصة وأن المحركات التى تدور بالكهرباء ستكون محركات نظيفة لا ينتج منها عوادم تلوث الهواء .

تخزين الطاقة فى القطاع الصناعى وفى المدن

يمكن الاستفادة كثيرا من عمليات تخزين الطاقة وتوفيرها فى كل من القطاع الصناعى وفى الاسواق التجارية والمبانى السكنية .

ويمكن تخزين الحرارة باستعمال الماء فى الاماكن التى تحتاج اليها مباشرة ، وذلك بواسطة استعمال سخانات للمياه تعمل بطريقة أتوماتيكية بالتيار الكهربائى الفائض فى غير أوقات الذروة ، وتنقطع عن العمل فى أوقات الذروة .

وقد استخدم هذا المبدأ فى بعض الدول الاوروبية ، فنجد أن المانيا الغربية قد استطاعت أن تطور عمليات تخزين الحرارة وتمكنت بذلك من توفير ٢٥٪ من الطاقة المطلوبة للتدفئة والتسخين فى الشتاء .

وتتنوع طرق تخزين الحرارة ، فقد يتم ذلك بتخزين الماء الساخن فى صهاريج خاصة أو خزانات ثم يعاد استخدامه عند اللزوم ، أو بوضع شبكة من الانابيب تحت الارضيات أو تحت جدران الغرف ، أو على هيئة عمليات تدفئة مركزية فى المبانى الكبيرة .

وعادة ما تستهلك عمليات تكييف الهواء أكبر قدر من الطاقة الكهربائية خاصة فى الدول الباردة شتاءا وفى الدول الحارة صيفا ، ويمكن تحقيق وفر كبير فى الطاقة فى هذا المجال بتشغيل نظام لتخزين الطاقة ، ففى الشتاء يتم تخزين الحرارة بتسخين الماء ، وفى الصيف ، يعمل نظام التبريد ليلا فى غير أوقات الذروة لتبريد حجم كبير من الماء ، أو لصنع مقدار من الثلج ، ثم يستعمل هذا الماء البارد أو الثلج فى تبريد المنزل وتكييف هوائه فى أثناء النهار ، دون الحاجة إلى استعمال التيار الكهربائى نهارا فى أوقات الذروة .

وقد تبين من بعض البحوث والتجارب التى أجريت بهذا الخصوص فى الولايات المتحدة أن مثل هذه الانظمة المتعلقة بتخزين الحرارة وبعمليات التكييف ، قد استطاعت أن توفر نحو ٧٥٪ من الطاقة المطلوبة ، والتى كانت تسحب عادة من الشبكة الكهربائية فى أوقات الذروة .

أما فى قطاع الصناعة، فيصعب تقدير الفائدة التى تعود تماما من عمليات تخزين الطاقة ، ومع ذلك فقد كانت هناك بعض الأفكار الجريئة التى قدمت فى هذا المضمار .

ومن أمثلة هذه الافكار ، أنه قد يمكن الاستفادة من درجات الحرارة العالية التى تتطلبها بعض العمليات الصناعية ، مثل عمليات صهر الصلب وتصنيع الالومنيوم أو الزجاج ، بتخزين الحرارة الناتجة منها بواسطة طرق للعزل أكثر كفاءة ، أو بعكس الاشعاعات تحت الحمراء الكامنة فى المادة المصنعة ، وإعادة استخدام هذه الحرارة لتسخين بعض المواد الاخرى ، أو لتسخين تشغيلة أخرى فى نفس خط الانتاج .

ولاشك أننا لو تمكنا من تخزين مثل هذه الطاقة الحرارية فى وسط يمكن إعادة استخدامه ، بدلا من ترك هذه الحرارة لتتبدد فى الهواء ، فان ذلك سيؤدى إلى خفض استهلاك الوقود فى كثير من القطاعات الصناعية .

وهناك طريقة أخرى يمكن الاستفادة منها فى تخزين الطاقة ، وهى طريقة تعرف باسم « **التوليد المشترك** » « Cogeneration » ، وهى طريقة تتضمن استخدام قدر واحد من الطاقة فى غرضين فى نفس الوقت ، مثل استخدام الحرارة الناتجة من حرق الوقود فى أحد الأفران لتسخين إحدى العمليات الصناعية ، ولتوليد الكهرباء فى نفس الوقت من الغازات الساخنة الناتجة ، ومازالت مثل هذه الطرق تحت البحث اليوم .

وعندما ينجح الانسان فى إحلال الطاقة الشمسية محل بعض مصادر الطاقة غير المتجددة مثل الفحم والبترول والغاز الطبيعى ، فان الحاجة إلى عمليات تخزين الطاقة ستصبح أكثر الحاحا منها اليوم ، وذلك للتنسيق بين مصدر متقطع للطاقة وارد من الشمس ، لأن الشمس تسطع نهارا فقط وتغيب ليلا ، كما أنها لايسطع نورها كل يوم فى كثير من البلدان ، وبين مطلب مستمر لهذه الطاقة ليلا ونهارا ، كما أن عمليات تخزين الطاقة ستساعد كثيرا على تركيز الطاقة التى سبق تجميعها ، وبذلك تصبح هذه الطاقة أكثر صلاحية للاستخدام فى كثير من الأغراض .

وقد أقيم بالمملكة العربية السعودية نظام لاستغلال الطاقة الشمسية يعتمد على الخلايا الضوئية ، واستخدمت البطاريات السائلة (مركم الرصاص) فى تخزين الطاقة الكهربائية الناتجة من هذا النظام ، وتعطى هذه العملية نحو ٣٥٠ كيلو وات من الكهرباء تكفى لانارة قريتين .

ويعتبر الماء من أصلح الاوساط لتخزين طاقة الشمس ، ويمكن تسخين هذا الماء نهارا ثم استعماله ليلا فى تدفئة المبانى والمنازل .

وقد أمكن كذلك استخدام الهواء وسطا لتخزين الطاقة الشمسية وتم نقل حرارة الشمس بواسطة الهواء الساخن إلى بعض الصخور فى باطن الأرض ، وإستخدامها خزانا للطاقة يمكن إعادة استخدامه ، وغالبا ما تكون هذه الخزانات الصخرية تحت المبنى المراد تدفئته أو فى مكان مجاور له .

كذلك يمكن استخدام مواد بناء جديدة تستطيع أن تختزن طاقة الشمس الحرارية فى أثناء النهار ، أو تختزن برودة الجو ليلا ، ويعاد استخدام هذه الطاقة بعد ذلك ، ولاشك أن كل هذه الافكار عند تطبيقها بنجاح ستؤدى إلى خفض تكاليف عمليات التكييف فى المدن ، وستقلل من اعتمادنا إلى حد ما على مصادر الطاقة التقليدية .

وهناك أفكار طموحة تتعلق بتخزين الطاقة على مستوى كبير ، فقد فكر بعض العلماء فى تخزين طاقة الشمس فى الصيف لاستخدامها فى اثناء فصل الشتاء فى مقاطعة بأسرها ، وهم يرون أن الماء هو أنسب وسط لاجراء هذه العملية ، ويعتقدون أنه سيمكن فى المستقبل القريب ، اختزان حرارة الشمس ، وكذلك الحرارة الناتجة من بعض الصناعات ، فى بحيرات خاصة محدودة الحجم أو فى باطن الارض .

وهناك عقبة رئيسية أمام تنفيذ مثل هذه المقترحات ، فان عمليه نقل هذا الماء الساخن من البحيرات أو من الخزانات الارضية الى المستهلكين فى منازلهم ستكون باهظة التكاليف .

ومع كل ذلك فان بحث موضوع البحيرات التى يمكن رفع درجة حرارتها وعزلها لاستعمالها فى هذا الغرض يجرى حاليا فى المانيا ، كما أن فكرة استخدام المخازن الارضية لتخزين الماء البارد أو الساخن تبحث حاليا فى الولايات المتحدة .

أثر إنتاج الطاقة على البيئة

اعتاد الناس قياس التقدم التكنولوجى للأمم بقياس ذلك القدر من الطاقة الذى يستهلكه كل فرد من أفراد هذه الأمم ، فكلما زاد ذلك القدر دل ذلك على تقدم الدولة ورفعة شأنها .

وعندما نأخذ فى الاعتبار التلوث الذى ينشأ عن حرق الوقود عند إنتاج الطاقة ، نجد أن الزيادة فى استهلاك الطاقة فى دولة من الدول تعد فى الحقيقة دليلا على زيادة مساهمة هذه الدولة فى تلوث البيئة والاضرار بها وبما يعيش فيها من كائنات .

التلوث الناتج عن إستخدام أنواع الوقود التقليدية

أدى التقدم الصناعى والتكنولوجى للانسان إلى استخدام كميات هائلة من أنواع الوقود التقليدية مثل الفحم والبترول والغاز الطبيعى .

وعند حرق هذه الانواع من الوقود لانتاج الطاقة فى المصانع وفى محطات القوى تنتج منها عدة غازات أهمها ثانى أكسيد الكربون وثانى أكسيد الكبريت وبعض أكاسيد النتروجين .

وعلى الرغم من أن غاز ثانى أكسيد الكربون هو أحد المكونات الطبيعية للهواء ، الا أنه لوحظ فى الاعوام الاخيرة أن نسبته فى الهواء قد إزدادت نتيجة للاسراف فى حرق الوقود ، وتبلغ كمية هذا الغاز التى تتصاعد فى أجواء دولة صناعية كبرى مثل الولايات المتحدة عدة ملايين من الاطنان ، وتتضاعف هذه الكمية تقريبا كل عشر سنوات .

ويقوم غاز ثانى أكسيد الكربون بعمل يشبه عمل الصوبه الزجاجية تماما ، فهو يحجز حرارة الارض ويمنعها من الانتشار فى الفضاء .

ويعنى ذلك أن ارتفاع نسبة هذا الغاز فى الهواء ستؤدى إلى ارتفاع درجة حرارة سطح الأرض عن معدلها ، وقد يؤدى ذلك على المدى الطويل إلى انصهار

جزء من الجليد الذي يغطى قطبى الكرة الارضية وارتفاع مستوى مياه البحار والمحيطات واغراق كثير من حواف القارات بما عليها من مدن ومنشآت .

أما غاز ثانى أكسيد الكبريت فهو ينتج من أنواع الوقود التى تحتوى على قدر من عنصر الكبريت أو بعض مركبات الكبريت العضوية .

وغاز ثانى أكسيد الكبريت غاز حمضى سهل الذوبان فى الماء ، ويتحد هذا الغاز تحت بعض الظروف الخاصة مع اكسجين الهواء معطيا غاز ثالث أكسيد الكبريت الذى يذوب فى الماء مكونا حمضا قويا يعرف باسم حمض الكبريتيك ، ينتشر فى الجو على هيئة رذاذ دقيق يشبه الايروسول ، ثم يتساقط بعد ذلك على هيئة أمطار حمضية تزيد من حموضة التربة وحموضة المجارى المائية مثل الانهار والبحيرات وتضر كثيرا بما فيها من كائنات حية .

كذلك تتسبب هذه الأمطار الحمضية فى تآكل أحجار المبانى والتماثيل وتؤدى الى سرعة صدأ المعادن ، والى الإضرار كثيراً بصحة سكان المدن الذين يتعرضون لهذا النوع من التلوث .

وتنتج كذلك بعض أكاسيد النتروجين عند إحراق الفحم أو المازوت فى محطات القوى وفى غيرها من المنشآت الصناعية وكذلك عند إحراق بعض مقطرات البترول فى محركات السيارات وفى محركات الطائرات النفاثة .

وتمثل أكاسيد النتروجين خطرا كبيرا على طبقة الاوزون التى توجد فى الغلاف الجوى وتحيط بالارض وتمتص قدرا كبيرا من الاشعة فوق البنفسجية الواردة من الشمس .

وعندما تصل أكاسيد النتروجين إلى طبقة الاوزون التى تمثل درعا واقية تحيط بالارض ، فانها تتفاعل مع الاوزون وتحوله إلى أكسجين عادى وبذلك تؤدى إلى زيادة نفاذ الاشعة فوق البنفسجية فى الغلاف الجوى ، وهذه الاشعة تتسبب فى إتلاف خلايا الكائنات الحية وقد يؤدى ذلك ، عند زيادة نسبة أكاسيد النتروجين فى الهواء ، إلى حدوث ما يسمى بالدمار البيولوجى والقضاء على كل أنواع الكائنات الحية التى تعيش على سطح الأرض .

وتحتوى الغازات التى تتصاعد إلى الهواء عند حرق الوقود على كثير من الابخرة والشوائب ، فقد تحتوى هذه الابخرة على بعض مركبات الزرنيخ والفوسفور والسلينيوم والزئبق والرصاص والكادميوم ، وتعلق هذه الابخرة بالهواء على هيئة ايروسول ، وهى مواد تسبب أضراراً شديدة للكائنات الحية بأنواعها .

ويؤدى حرق الوقود فى محركات السيارات الى حدوث تلوث شديد لهواء المدن

وإلى حدوث تلك الظاهرة المعروفة باسم « **الضباب الدخانى** » ، وهى ظاهرة يمتزج فيها الضباب ببعض نواتج الاحتراق غير الكامل لوقود السيارات ، وتختلط بها أكاسيد النتروجين وثانى أكسيد الكبريت .

ويتكون من هذا الخليط ضباب دخانى كثيف يغلف المدن فى بعض الاحيان كما فى لندن ومدينة المكسيك ولوس انجلوس وغيرها ، وهو يسبب أضراراً شديدة لسكان هذه المدن ويتسبب أحيانا فى حدوث كثير من الوفيات.

وعندما يكون الوقود المستخدم فى محركات السيارات من النوع المضاف اليه رابع اثيل الرصاص ، فان هذا الضباب الدخانى يصبح محملا ببعض الرصاص وتزداد خطورته كثيرا على صحة سكان المدن .

ونظرا لانتشار استعمال السيارة فى كل مكان ، وانتشار المنشآت الصناعية وامتدادها إلى كثير من المناطق ، فان هذا التلوث قد امتد إلى كثير من المناطق الريفية المحيطة بهذه المواقع ، وبذلك أصبح هذا النوع من التلوث له صفة العموم .

وهناك نوع آخر من التلوث يحدث عند استخراج بعض أنواع هذا الوقود من باطن الارض ، أو عند نقله من أماكن استخراجه إلى الاسواق .

ومثال ذلك ، تلوث البيئة المحيطة بمناجم الفحم ، ففى كثير من الاحيان تتسرب بعض المياه الجوفيه الى هذه المناجم ، ويتطلب الأمر التخلص منها بضخها إلى سطح الأرض .

وهذه المياه تكون حمضية التأثير وملوثه بتراب الفحم ، وبذلك فهى تفسد التربة المحيطة بالمناجم وتسبب تلوث المجارى المائية المحيطة بها .

وعندما يستخرج الفحم بطريقة التعدين السطحى ، ينتج عن ذلك إزالة الطبقة السطحية للتربة وتتحول المنطقة كلها إلى مجموعة من الحفر العميقة والتلال ، وتصبح غير صالحة للزراعة أو للسكنى أو غيرها .

كذلك تتلوث مياه البحار عند نقل الزيت الخام بواسطة الناقلات البحرية ، فاغلب هذه الناقلات تلقى مابها من نفايات ومخلفات بترولية أثناء سيرها فى البحار .

وتشترك الحوادث البحرية التى قد تحدث لبعض هذه الناقلات فى عمليات تلوث المياه ، ورغم أن التلوث الناتج فى هذه الحالة يكون عادة مركزا فى منطقة بعينها إلا انه بعد فترة من الزمن تنتشر بقعة الزيت فى ماء البحر فى مساحة اكبر

وينتشر ضررها فى المناطق المحيطة بالحادث ، وتنتقل آثار هذا التلوث إلى الشواطىء القريبة عن طريق المواد المتطايرة التى يحملها الهواء وعن طريق بعض البقايا الاسفلتية ، التى تختلط بالرمال وتظهر على الشواطىء على هيئة كرات صغيرة سوداء تعرف باسم « كرات القار » « Tar Balls » .

ولايقتصر التلوث الحادث لمياه البحار على الحوادث البحرية فقط ، فهذه الحوادث لاتمثل الا نحو ١٠٪ على الاكثر من زيت البترول الذى تتلوث به مياه البحار ، بينما تأتى بقية هذا الزيت من بعض الاخطاء أو الحوادث الطارئة فى أثناء عمليات الاستكشاف أو أثناء إستخراج البترول من الآبار البحرية أو من تدفق الزيت خطأ من بعض خطوط الانابيب التى تحمل البترول الى شواطىء البحار أو من مياه التوازن التى تستعملها الناقلات الفارغة ، والتى تعيد القاءها إلى مياه البحر حاملة معها قدرا من زيت البترول المتبقى فى الناقلة والذى يصل فى كثير من الاحيان إلى ١٪ من حمولة الناقلة .

كذلك تعتبر عمليه فصل الماء الملح عن زيت البترول من أهم العمليات التى تؤدى إلى تلوث مياه البحار ، ولايتم هذا الفصل بصورة تامة فى أغلب الاحوال ، بل يتبقى جزء من الزيت عالقا بالماء الملح الذى يلقى بعد ذلك فى البحار أو فى الانهار .

ويمكننا تصور الكميات الهائلة من هذا الماء الملح الملوث بزيت البترول الذى يلقى فى البحار كل يوم ، إذا علمنا أن كل برميل من زيت البترول ، تصاحبه عدة براميل من الماء الملح .

الطاقة النووية والبيئة

قوبل استخدام الطاقة النووية فى توليد الكهرباء بمعارضة شديدة من كثير من الجماعات فى بلدان العالم ، وانقسم الناس ما بين مؤيدين ومعارضين لهذا الاستخدام السلمى للطاقة النووية .

ويرى المعارضون لاقامة المفاعلات النووية أو المحطات النووية أن هناك بعض الاحتمالات فى حدوث خلل فى بعض اجزائها ، مما قد يؤدى إلى تسرب الاشعاعات النووية من هذه المحطات وانتشارها فى المناطق المحيطة بها .

ويستند أصحاب هذا الرأى إلى بعض الاحداث التى وقعت لبعض المفاعلات النووية ، وأدت إلى تسرب الاشعاعات ، مثل ذلك الخلل الذى أصاب مفاعل « **ثرى مايلز ايلاند** » بالولايات المتحدة ، أو ذلك الحادث الخطير الذى وقع فى المفاعل

النووى فى تشرنوبيل بالاتحاد السوفيتى ، والذى نتج عنه انتشار الاشعاعات النووية فوق اوروبا وبعض بلاد اسيا والشرق الأوسط .

وقد أحدث هذا الحادث الاخير ذعرا شديدا بين الناس فى كل مكان ، وتسبب فى قتل بعض من تعرضوا مباشرة للاشعاع الناتج منه .

وقد قدر أحد العلماء أن عدة ملايين من الافراد فى الاتحاد السوفيتى وفى بعض مناطق وسط اوروبا سيتأثرون بنتائج هذا الحادث على المدى الطويل .

وقد تم التخلص من كثير من المواد الغذائية التى أصابها الاشعاع مثل الالبان ومنتجاتها ، وبعض الخضروات ، والقمح والدقيق وبعض انواع الفاكهة والثمار الجافة ، مثل البندق واللوز الواردة من تركيا ومن بعض دول وسط أوروبا .

ويعتبر حادث تشرنوبل من أخطر حوادث المفاعلات النووية حتى الان .

وبجانب هذه الاخطار الناتجة من حدوث خلل طارىء فى المفاعلات النووية ، فهناك بعض المشاكل الاخرى التى تصاحب إقامة المحطات النووية المستخدمة فى توليد الكهرباء ، مثل مشكلة التلوث الحرارى ، ومشكلة التخلص من النفايات والمخلفات النووية الناتجة منها ، واثر كل ذلك على البيئة المحيطة بهذه المحطات .

التلوث الحرارى :

ينشأ التلوث الحرارى نتيجة لاحتياج المحطات النووية الى تبريد مفاعلاتها ، وهى تستخدم لهذا الغرض كميات ضخمة من الماء .

ولهذه الاسباب فان أغلب المحطات النووية لتوليد الكهرباء تقام على شواطىء الانهار أو البحيرات ، أو على شواطىء البحار

وعند إعادة صرف هذا الماء الساخن بعد استخدامه فى تبريد المفاعل إلى المجرى المائى الذى أخذ منه ، يكون هناك فرق واضح فى درجات الحرارة بين كتلة الماء التى استخدمت فى التبريد ، وبين بقية مياه المجرى الأصلى .

وقد يؤدى تكرار هذه العملية يوما بعد يوم ، إلى رفع درجة حرارة المجرى المائى باكمله ، خاصة إذا كان هذا المجرى المائى بحيرة مقفلة ، أو يؤدى إلى رفع درجة حرارة جزء كبير من المجرى الواقع أمام المحطة النووية ، إذا كانت هذه المحطة مقامة على شاطىء البحر أو على شاطىء أحد الأنهار .

وعلى الرغم من أن هذه العملية قد لاتؤدى إلى رفع درجة حرارة الماء

إلا بشكل طفيف ، لايزيد على درجتين أو ثلاث درجات مئوية ، إلا أن هذا الارتفاع الطفيف فى درجة الحرارة ، كما يبدو لنا ، قد يتسبب فى الاخلال بنظام البيئة المتوازن ، ويضر كثيرا بحياة بعض الكائنات الحية التى تعيش فى المجرى المائى .

والسبب فى ذلك أن كثيرا من هذه الكائنات الحية التى تعيش فى الماء لاتستطيع أن تتكيف بسهولة أمام هذه التغيرات الحرارية ، وقد تموت بعض هذه الاحياء ، وقد يهاجر بعضها الآخر بعيدا ، مما يؤثر كثيرا على الثروة الحيوانية والسمكية فى هذه المناطق .

ومن المعروف أن المحطة النووية التى تبلغ قدرتها ٥٠٠ ميجا وات تستطيع مياه الصرف الساخنة الناتجة منها أن تسبب تلوثا حراريا لنهر كامل معدل جريان الماء فيه نحو ثلاثين مترا مكعبا فى الثانية ، وترفع درجة حرارة مياهه بمقدار عشر درجات مئوية .

ومما يزيد من خطورة هذا التلوث الحرارى ، أن المياه الساخنة التى تصرفها المحطات النووية ، تقل بها نسبة غاز الاكسجين الذائب إلى حد كبير ، وعند اختلاط هذه المياه بمياه المجرى المائى ، فانها تؤدى إلى تقليل كمية الأكسجين الذائب فى هذه المياه المحيطة بالمحطة النووية ، مما يؤثر كثيرا على نشاط الكائنات الحية التى تعيش فى هذا المجرى المائى .

وهناك كثير من الحلول التى قدمت للتغلب على هذا التلوث الحرارى ، فيمكن مثلا اقامة المحطات النووية على شواطىء البحار واستخدام مياه البحر العميقة فى تبريد مفاعلاتها ، وذلك لأن مياه البحر العميقة تكون درجة حرارتها منخفضة كثيرا عن درجة حرارة مياه البحر السطحية ، وبذلك لن ترتفع درجة حرارة هذه المياه كثيرا عن درجة حرارة مياه البحر السطحية ، بعد أن تستخدم فى تبريد المفاعل .

ويخدم ذلك غرضا آخر ، فمثل هذه المياه العميقة تعيش بها كثيرا من الكائنات الحية الدقيقة ، وعند صرفها بعد استخدامها فى التبريد ، فانها ستساعد على زيادة كمية المادة الغذائية المتاحة فى المياه السطحية للبحر كما أنه يمكن إلقاء هذه المياه فى أحواض خاصة تحتوى على الزريعة السمكية التى ستجد غذاء وفيرا فى هذه المياه .

المخلفات النووية

يجب الحرص الشديد عند تناول المخلفات النووية أو نقلها . وعندما ينتهى استعمال الوقود النووى ، تكون هناك نسبة عالية من الذرات القابلة للانشطار فى بقايا الوقود ، وتطلق هذه الذرات المشعة ، بالاضافة إلى غيرها من نواتج الانشطار المشعة ، قدرا كبيرا من الحرارة ، وقدرا كبيرا من الاشعاعات ، ولهذا يجب التخلص من هذه النفايات بعناية كبيرة .

وهناك عدة طرق للتخلص من هذه النفايات والمخلفات النووية ، فهى قد تغمر فى خزانات مملوءة بالماء حتى تفقد جزءا كبيرا من حرارتها وبعض اشعاعاتها ، ثم توضع بعد ذلك فى أوعية خاصة لاتسمح بنفاذ الاشعاعات منها ، وتدفن بعد ذلك فى باطن الأرض على أعماق كبيرة وبعيدا عن العمران .

وتقوم بعض الدول مثل فرنسا والولايات المتحدة بتغليف هذه النفايات المشعة فى كتل من الزجاج أو من الخزف ، مما يساعد على مقاومة الحرارة المنبعثة من هذه النفايات ويعزلها عن الوسط المحيط بها ، كما يمنع الفعل الكيميائى لمختلف العوامل الخارجية المحيطة بهذه النفايات ، مثل المياه الجوفية أو بعض مكونات التربة الاخرى .

وعادة ما توضع هذه النفايات ، بعد تغليفها بالزجاج أو بالخزف ، فى أوعية من الصلب محكمة الغلق ، ثم تحفظ بعد ذلك فى آبار خاصة ذات جدار سميك ومزدوج ، على عمق كبير تحت سطح الأرض .

ويجب فرض رقابة دائمة على مواقع دفن هذه النفايات النووية ، وذلك لأنها تبقى مصدرا للخطر لمدة طويلة تصل فى بعض الاحيان إلى مئات السنين .

أثر مصادر الطاقة الأخرى على البيئة

تعتبر مصادر الطاقة الاخرى ، مثل الطاقة الشمسية والطاقة الناتجة من مياه البحار أو من حرق غاز الهدروجين ، مصادر نظيفة للطاقة ، ولا ينتج منها مواد ملوثة للبيئة أو تسبب ضررا للكائنات الحية .

ومع ذلك فهناك بعض الصعوبات التى تنشأ عند استخدام الطاقة الناتجة من الينابيع الحارة ، وذلك لأن التخلص من الماء الناتج من تبريد بخار الينابيع بعد استخدامه ، يمثل مشكلة كبيرة وقد يسبب بعض الاضرار للبيئة المحيطة بهذه المناطق ، فالماء الناتج يكون ساخنا وقد يسبب بعض التلوث الحرارى عند القائه فى

المجارى المائية ، كذلك قد يحتوى هذا الماء على نسبة عالية من الاملاح المعدنية التى تضر بالتربة ضررا شديدا وتجعلها غير صالحة للزراعة .

كذلك قد يصاحب البخار أو الماء الساخن المتصاعد من باطن الأرض عن طريق هذه الينابيع ، بعض الغازات الضارة مثل أكاسيد الكبريت أو غاز كبريتيد الهدروجين ، وهى غازات حمضية تلوث الهواء وتسبب ضررا شديدا للبيئة المحيطة بهذه الينابيع .

كذلك هناك خطر كبير من احتمال حدوث بعض الانهيارات فى تربة الارض فى بعض المناطق التى توجد بها الينابيع الحارة ، وذلك نتيجة لسحب المياه والبخار من الطبقات المسامية وتكون بعض الفجوات تحت سطح الأرض .

ولاشك أن المستقبل سيكون لمصادر الطاقة النظيفة التى تجمع بين رخص تكلفتها وبين عدم اضرارها بالبيئة المحيطة بها .

مراجع

1 - D.O. Shah and R.S. Schechter, « Improved Oil Recovery By Surfactant and Polymer Flooding », Academic Press, 1977.

2 - « Tar Sands and Supergiant Oil Fields », Am. Assoc. Petro. Geol. Bull., 61, 1950 (1977).

3 - B. Tissot and D. Welte, « Petroleum Formation and Occurance », Springer Werlag, 1978.

4 - E.N. Tiratsoo, « Natural Gas », Scientific Press Ltd., Beaconsfield, England, 1979.

5 - M.Valais et al., « L'industrie du Gas Dans Le Monde ", Editions Technip., Paris, 1982.

6 - R.Vandenbosch and J.R. Huizenga, « Nuclear Fission », Academic Press, 1973.

7 - The Fifth Ocean Thermal Energy Conversion Conference, Miami, U.S.A., 20-22 February, 1978, Proceedings Conf., 780236.

8 - V.D. Hunt, « The Gasohol Handbook », Industrial Press Inc. 1981

9 - Pour La Science, Septembre 1987, France

رقم الإيداع بدار الكتب

١٩٨٨ / ٨٣٩٤

يتناول الكتاب واحدا من أهم الموضوعات التى شغلت الرأى العام العالمى هذه الأيام ، وهو موضوع الطاقة . فيستعرض مصادرها التقليدية مثل الفحم والبترول والغاز الطبيعى ، وهى التى تعرف باسم المصادر غير المتجددة للطاقة ، مبينا طرق استخراجها وتنقيتها ونقلها واستعملاتها المختلفة ، ثم يتناول المصادر المتجددة للطاقة مثل الطاقة النووية والطاقة الشمسية ، واستخدام حرارة الأرض وحركة مياه البحار وطاقة الرياح وخلايا الوقود والبيوماس والجازوهول مبينا أحدث الاتجاهات فى هذا المضمار .

ويتضمن الكتاب كذلك فصلا عن طرق تخزين الطاقة وفصلا آخر عن أثر انتاج الطاقة على البيئة .

والمؤلف الأستاذ الدكتور أحمد مدحت إسلام ، رئيس قسم الكيمياء السابق بعلوم الأزهر ، وعضو الأكاديمية المصرية للعلوم ، وخبير الكيمياء بمجمع اللغة العربية ، خبير متمكن فى الموضوع بحكم تخصصه العلمى ، صاحب أسلوب متميز فى العرض والشرح بحكم ممارسته الطويلة فى التعليم والعمل فى مجال اللغة وتطويرها .

الناشـــر

مركز الأهرام للترجمة والنشر
مؤسسة الأهرام

التوزيع فى الداخل والخارج : وكالة الأهرام للتوزيع
ش الجلاء ـ القاهرة

مطابع الأهرام التجارية القاهرة ـ مصر